

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2003 年 11 月 6 日 (06.11.2003)

PCT

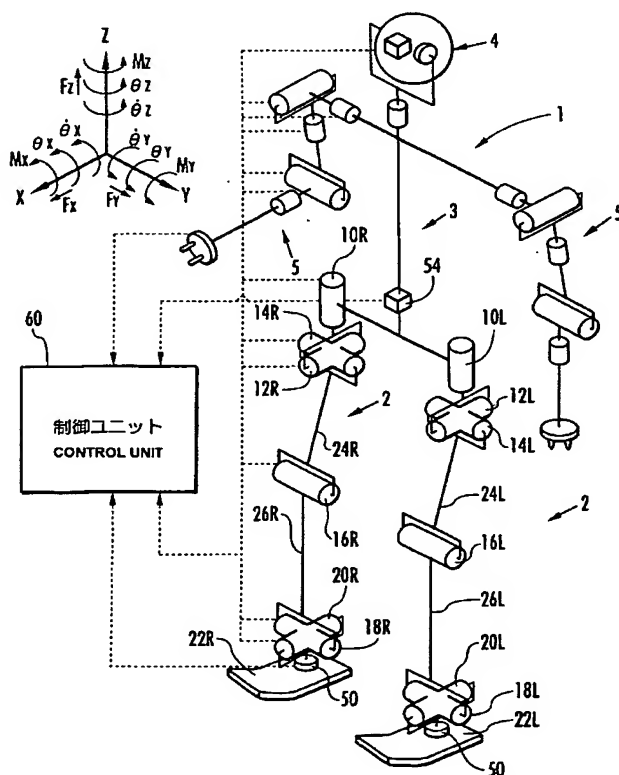
(10) 国際公開番号  
WO 03/090982 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: B25J 13/00, 5/00 (72) 発明者; および  
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/05450 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹中 透 (TAKE-  
(22) 国際出願日: 2003 年 4 月 28 日 (28.04.2003) NAKA, Toru) [JP/JP]; 〒351-0193 埼玉県 和光市 中央  
(25) 国際出願の言語: 日本語 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内 Saitama  
(26) 国際公開の言語: 日本語 (JP). 松本 隆志 (MATSUMOTO, Takashi) [JP/JP]; 〒  
351-0193 埼玉県 和光市 中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会  
(30) 優先権データ: 特願2002-127682 2002 年 4 月 26 日 (26.04.2002) JP 社本田技術研究所内 Saitama (JP).  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本 (74) 代理人: 佐藤 辰彦, 外 (SATO, Tatsuhiko et al.); 〒  
田技研工業株式会社 (HONDA GIKEN KOGYO 151-0053 東京都 渋谷区 代々木 2-1-1 新宿マイン  
KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒107-8556 東京都 港 スター 1 6 階 Tokyo (JP).  
区 南青山二丁目 1 番 1 号 Tokyo (JP). (81) 指定国 (国内): JP, KR, US.  
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB).

[続葉有]

(54) Title: CONTROL DEVICE AND FOOTSTEP DETERMINATION DEVICE FOR LEGGED MOBILE ROBOT

(54) 発明の名称: 脚式移動ロボットの制御装置および足跡決定装置



(57) Abstract: A control device and a footstep determination device for a legged mobile robot, wherein the landing position and landing direction of a foot (22) landing in the landing operation of the robot (1) such as a bipedal mobile robot are estimated and the target footstep route of the robot (1) is set up, future target landing position and target landing direction are determined based on the estimated landing position and landing direction and the target footstep route so that the actual footstep route (rows of landing positions and landing directions of the foot (22)) of the robot (1) near the target footstep route, the target gait pattern of the robot (1) is determined by using at least the determined target landing position and target landing direction, the operational control of the robot (1) is performed according to the target gait pattern, and when the target landing position and landing direction are determined, the mechanical restricting conditions of the robot (1) itself such as an interference between leg bodies and the restricting conditions in the target ZMP presence allowable range.

[続葉有]



添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

(57) 要約:

2足移動ロボット等のロボット(1)の着地動作で着地する足平(22)の着地位置・向きを推定すると共に、ロボット(1)の目標足跡経路を設定する。推定された着地位置・向きと目標足跡経路とに基づいて、ロボット(1)の実際の足跡(足平(22)の着地位置・向きの列)を目標足跡に近づけるように、将来の目標着地位置・向きを決定する。決定した目標着地位置・向きを少なくとも用いてロボット(1)の目標歩容を決定し、その目標歩容に応じてロボット(1)の動作制御を行う。目標着地位置・向きを決定するときには、脚体同士の干渉等のロボット(1)自身の機構的制約条件や、目標ZMPの存在許容範囲の制約条件等を考慮する。

## 明 細 書

## 脚式移動ロボットの制御装置および足跡決定装置

## 技術分野

本発明は、2足移動ロボット等の脚式移動ロボットに関し、より詳しくは該ロボットの経路誘導（軌道誘導）のための装置に関する。

## 背景技術

一般に、複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットでは、特に移動速度が高くなると、脚体を振ることによる反力によって、脚体先端部である足平と床との間の摩擦力が限界となって、足平と床との間で回転滑りが生じたりして、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれたり、目標経路からずれるという問題があった。

補足すると、上体が常に鉛直姿勢（直立姿勢）を維持して、直線歩行する目標歩容だけが生成されるとは限らない。目標歩容においても、ロボット全体または上体は旋回したり、前後左右に傾いたりする。すなわち、目標歩容においても、ロボットの全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が存在する。そこで、本明細書において、目標歩容における姿勢回転を目標姿勢回転と呼ぶ。

上述のように、ロボットが目標歩容の向きからずれたり、目標経路からずれるのは、基本的には、実際のロボットの全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が、前記目標姿勢回転からずれるという現象に起因する。この現象を、厳密に表現するならば、「目標姿勢回転からの摂動」あるいは「姿勢回転摂動」と呼ぶべきであるが、目標姿勢

回転と混同する恐れがない場合には、以降、これを「姿勢回転」と省略する。なお、以降、特に、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれる現象をスピンと呼ぶ。

上記の問題を解決するためには、ロボットの位置と移動方向とを認識  
5 しつつ、目標経路からずれないように軌道誘導制御を行なう必要がある。

経路誘導制御としては、ロケット、航空機等の飛行体ならびに無人搬送車の軌道誘導制御が知られている。しかし、これらの制御方式を、脚式移動ロボットにそのまま導入することは困難であった。この理由としては、例えば以下の3つが挙げられる。

10 第1に、ロボットの上体等の多くの部位は、1歩の間でも、加減速が激しく、その部位の実際の位置や姿勢（向き）を精度良く認識することが困難であった。

第2に、ロボットは、例えば、単に直進するだけでも、動力的なバランスをとるために、ロボットの代表的部位である上体の位置または姿  
15 勢を常に左右に揺すらなくてはならないため、上体の速度と進行方向（移動方向）とが一致しない。また、ロボットは、上体の向きと関係無く自在な方向に移動できるので上体の向きと進行方向も一致するとは限らない。すなわち、上体速度、向きなど、ロボットの瞬間の運動状態を見ただけでは、ロボットが目標経路からずれようとしてているのか否か  
20 が判定できなかった。

第3に、姿勢バランスを維持しなければならないこと、ならびにアクチュエータの能力限界を越えてはならないので、急激に歩容を変更することができなかった。例えば、着地直前に着地位置を急激に変更しようとしても、アクチュエータの速度または力が能力を超えそうになって変  
25 更できなかったり、あるいは、変更できたとしても、着地後にバランスを崩す恐れがあった。



以上のごとく、単純に、従来の経路誘導技術をロボットに導入することは困難であった。

本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、ロボットを所要の目標経路に追従させる経路誘導（軌道誘導）を適正に行うことができる

5 脚式移動ロボットの制御装置を提供することを目的とする。

また、飛び石の上や階段などをロボットが移動する場合のように、1歩毎の脚体の着地位置が限定された状況においても、その限定範囲を越えたりすることなく、ロボットを円滑に移動させることができる脚式移動ロボットの制御装置を提供することを目的とする。

10 また、ロボットの移動前において、あるいはオフラインコンピュータによるシミュレーションにおいて、与られた目標経路や、飛び石等に対応する着地位置の限定範囲を基に一連の脚体の着地位置・向きの列としてのロボットの目標足跡を適正に決定することができる足跡決定装置を提供することを目的とする。

15

#### 発明の開示

前記目的を達成するために、本発明の脚式移動ロボットの制御装置に係る第1発明は、複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットにおいて、前記ロ

20 ボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、前記ロボットの目標足跡経路を設定する目標経路設定手段と、少なくとも前記推定された足平の着地位置及び着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、ロボットの実際の足跡を該目標足跡経路に近づけるようにロボットの次回以降の着

25 地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の目標着地向きを決定する足平目標着地向き決定手段と、前記足平目標着地

向き決定手段により決定された目標着地向きを少なくとも用いてロボットの目標歩容を決定する目標歩容決定手段と、その決定された目標歩容に応じて前記ロボットの動作を制御する動作制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

- 5       この第1発明は、ロボットの各回の着地動作で着地する脚体の足平の着地位置及び着地向き（以下、単に着地位置・向きとすることがある）に着目し、その足平の着地位置・向きをロボットの位置および移動向き代表するものとして用いる。その足平の実際の着地位置・向きが推定されると共に、その着地位置・向きの列が表すロボットの足跡の目標たる
- 10   目標足跡経路が設定される。そして、前記推定された着地位置・向きと目標足跡経路とに基づいて、ロボットの実際の足跡（前記推定される着地位置・向きの列）を目標足跡経路に近づけるように、次回以降の着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の目標着地向きが決定される。つまり、将来のある回の着地動作で着地する足
- 15   平の目標着地向きが決定される。さらに、その決定された目標着地向きを少なくとも用いてロボットの目標歩容が決定され、その目標歩容に応じてロボットの動作制御が行なわれる。

- ここで、ロボットの足平の着地位置・向きはロボットの上体等、他の部位に比べて頻繁な変動を生じにくい。また、足平の着地箇所では接地面
- 20   との間での回転滑り（スピン）が生じたとしても、その回転滑りによる足平の着地位置の変化は微小であると共に、着地向きの変化の安定性も高い。従って、足平の着地位置・向きは、ロボットの他の部位に比べて、ロボットの位置、移動方向を代表するものとしての安定性が高い。このため、足平の着地位置・向きを推定したとき、その着地位置・向きは、
- 25   ロボットの実際の位置及び移動方向を表すものとして好適なものとなる。その結果、第1発明によれば、ロボットを適正に経路誘導することがで

きる。

なお、かかる第 1 発明では、ロボットの移動経路を前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことが好ましい  
5 (第 2 発明)。これは、ロボットの実際の移動経路は、主に、着地した足平の鉛直軸回りの向きによって定まるからである。

上記第 1 発明あるいは第 2 発明では、前記脚式移動ロボットは 2 本の脚体を備えた 2 足移動ロボットであるときには、前記足平目標着地向き決定手段が決定する目標着地向きは、少なくともロボットの次回の着地  
10 動作で着地する足平の目標着地向きと次次回の着地動作で着地する足平の目標着地向きとを含み、前記目標歩容決定手段は、前記次回及び次次回の着地動作にそれぞれ対応して前記足平目標着地向き決定手段により決定された前記目標着地向きを少なくとも用いてロボットの次回の着地動作を規定する目標歩容を決定することが好ましい (第 3 発明)。

2 足移動ロボットでは、次回及び次次回の目標着地位置・向きを上記  
15 の如く決定して、それらの目標着地向きを少なくとも用いて次回の着地動作を規定する目標歩容を決定することで、次回の着地動作を規定する目標歩容を決定するときに、次次回の目標着地向きを考慮した目標歩容を決定できることとなる。その結果、ロボットの実際の足跡経路を目標  
20 足跡経路に近づけつつ、安定性の高いロボットの移動を行うことが可能となる。

また、前記第 1 ～ 第 3 発明では、前記足平目標着地向き決定手段は、少なくとも前記足平着地位置・向き推定手段により推定された足平の着地位置及び着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、前記目標着地向  
25 きを決定する足平の目標着地位置を該目標着地向きと共に決定し、前記目標歩容決定手段は、該足平目標着地向き決定手段により決定された目

標着地位置及び目標着地向きを用いて前記目標歩容を決定することが好ましい（第４発明）。

これによれば、目標着地向きだけでなく、目標着地位置も決定して、それを目標歩容の決定に用いることで、ロボットの足跡経路をより円滑に目標足跡経路に近づけることを可能とする目標歩容を決定することができる。

この第４発明では、前記足平目標着地向き決定手段は、少なくとも次の着地動作を含む所定回数先までの各回の着地動作で着地する足平の鉛直軸回りの目標着地向き及び目標着地位置を少なくとも前記足平着地位置・向き推定手段により推定された前記着地位置及び着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて決定する手段であり、前記目標歩容決定手段は、該足平目標着地向き決定手段により決定された前記所定回数先までの各回の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いて該次の着地動作を規定する目標歩容を決定する手段であり、前記足平目標着地向き決定手段は、少なくとも次の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、当該次の着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲内に該足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定することがより好ましい（第５発明）。

なお、前記所定回数先は、１回先でもよい。

この第５発明によれば、次の目標着地位置・向きを決定するとき、その目標着地位置・向きの組を前記自己依存着地許容範囲内で決定するので、目標足跡経路への追従性だけでなく、次の着地動作を行う脚体と他の脚体との干渉等のロボット自身の機構的制約条件が考慮される。

従って、目標足跡経路に追従させつつ、ロボットの脚体同士の干渉等が生じない目標歩容を決定して、ロボットの円滑な移動を行うことができ

る。

なお、前記自己依存着地許容範囲は、前記着地動作により着地した足平に対する、次回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて

5 設定されることが好ましい（第6発明）。すなわち、自己依存着地許容範囲は、着地した足平と、次に着地させようとしている足平との相対的な位置、姿勢関係に応じたものとなるので、その関係をマップ又は演算式により設定しておくことで、自己依存着地許容範囲を決定するときの演算負荷を減らすことができる。

- 10 また、前記第5又は第6発明では、前記目標歩容決定手段は、少なくとも前記足平目標着地向き決定手段が決定した目標着地位置及び目標着地向きを用いて前記次回の着地動作を規定する前記目標歩容における目標ZMPを仮決定する手段を備え、前記足平目標着地向き決定手段は、その仮決定された目標ZMPが所定の制限条件を満たさないとき、前記
- 15 所定回数先までの着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の前記目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正することが好ましい（第7発明）。

- すなわち、動力学的な平衡条件を満足する目標歩容の目標ZMPは、目標着地位置又は目標着地向きの影響を受ける一方、ロボットの接地面
- 20 内（より正確には所謂支持多角形内）に存在する必要がある。従って、上記の如く目標ZMPが、所定の制限条件（具体的には該目標ZMPが存在可能範囲の条件）を満たさない場合に、前記所定回数先までの着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の前記目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正する
- 25 ことで、動力学的な安定性を保ちながら目標足跡経路に追従させ得る目標歩容を決定できる。

また、前記第4～第7発明で、脚式移動ロボットが2本の脚体を備えた2足移動ロボットであるときには、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する代表点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点  
5 が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定められた代表点の目標位置であり、前記目標足跡経路は、前記代表点が近づくべき経路であることが好ましい（第8発明）。これによれば、目標足跡経路を、ロボットの左右の脚体の各足平について共通にすることができる。

- 10 さらに、この第8発明では、前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることが好ましい（第9発明）。これによれば、両足平を近接させて着地させるとき等に両足平同士が干渉するのを回避することが可能となる。

- 次に、本発明の脚式移動ロボットの制御装置に係る第10発明は、複  
15 数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットの目標歩容を決定して、該目標歩容に応じて前記ロボットの動作を制御すると共に、少なくとも前記ロボットの各回の着地動作によりロボットの脚体の足平が着地する毎に新たな目標歩容を決定するとき、該目標歩容に続く仮想的な周期的歩容を決定し、  
20 その周期的歩容に近づけるように該目標歩容を決定する脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、前記ロボットの目標足跡経路を設定する目標経路設定手段と、前記ロボットの次回以降の少なくともいずれかの回の着地動作で着地す  
25 る足平の目標着地位置及び鉛直軸回りの目標着地向きを、最新の目標歩容および該目標歩容に対応する前記周期的歩容の少なくともいずれかと

前記推定された足平の着地位置及び着地向きとに基づいて仮決定する足平目標着地位置・向き仮決定手段と、その仮決定した目標着地位置及び目標着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、ロボットの実際の足跡を該目標足跡経路に近づけるように前記仮決定した目標着地位置及び目標着地向きの少なくともいずれかを修正する足平目標着地位置・向き修正手段と、その修正された目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いてロボットの新たな前記目標歩容を決定する目標歩容決定手段とを備えたことを特徴とするものである。

かかる第10発明では、前記第1発明と同様に、ロボットの足平の着地位置・向きに着目し、その足平の着地位置・向きがロボットの位置および移動向き代表するものとして用いられる。そして、第10発明では、前記ロボットの次回以降の少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを、最新の目標歩容（既に決定した目標歩容のうちの最新の目標歩容）および該目標歩容に対応する前記周期的歩容の少なくともいずれかと前記推定された足平の着地位置及び着地向きとに基づいて仮決定した上で、その仮決定した目標着地位置及び目標着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、ロボットの実際の足跡を該目標足跡経路に近づけるように前記仮決定した目標着地位置及び目標着地向きの少なくともいずれかが修正される。さらに、その修正された目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いてロボットの新たな前記目標歩容が決定され、その目標歩容に応じてロボットの動作制御が行なわれる。従って、第10発明によれば、ロボットの継続的な安定性を保ちつつ、ロボットの経路誘導を適正に行うことができる。

この第10発明では、前記第2発明と同様に、ロボットの移動経路を前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含む

ことが好ましい（第11発明）。

また、第10又は第11発明では、前記目標歩容決定手段は、少なくとも前記足平目標着地位置・向き修正手段による修正後の目標着地位置及び目標着地向きを用いて前記新たな目標歩容における目標ZMPを仮決定する手段を備え、前記足平目標着地位置・向き修正手段は、その仮決定された目標ZMPが所定の制限条件を満たさないとき、前記足平目標着地位置・向き仮決定手段により仮決定された、少なくともいずれかの回の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかをさらに修正することが好ましい（第12発明）。

これによれば、前記第7発明と同様に、動力学的な安定性を保ちながら目標足跡経路に追従させ得る目標歩容を決定できる。

さらに、第10～第12発明で、前記脚式移動ロボットが、2本の脚体を備えた2足移動ロボットであるときには、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する代表点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定められた代表点の目標位置であり、前記目標足跡経路は、前記代表点が近づくべき経路であることが好ましい（第13発明）。さらにこの第13発明では、前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることが好ましい（第14発明）。これらの第13発明、第14発明によれば、それぞれ前記第8発明、第9発明と同様の作用効果を奏することができる。

次に、本発明の脚式移動ロボットの制御装置に係る第15発明は、複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着床動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットにおいて、前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平



着地位置・向き推定手段と、前記ロボットの各回の着地動作により着地する足平の着地位置及び着地向きの組の許容範囲であって、該ロボットが移動する環境条件により定まる環境依存着地許容範囲のうち、少なくとも次回及び次次回を含む所定回数先までの各回の着地動作にそれぞれ  
5 対応する複数の環境依存着地許容範囲を設定する足平着地許容範囲設定手段と、少なくとも前記推定された足平の着地向きと前記足平着地許容範囲設定手段により設定された複数の環境依存着地位置許容範囲とに基づいて、各環境依存着地位置許容範囲を満たすように、前記所定回数先までの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定する足平目標着地位置・向き決定手段と、その決定された前  
10 記所定回数先までの各回の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いてロボットの仮想的な周期的歩容を決定し、その決定した仮想的な周期的歩容に近づけるように、少なくとも次回の着地動作を規定するロボットの新たな目標歩容を決定する目標歩容決定手  
15 段と、その決定された新たな目標歩容に応じて前記ロボットの動作を制御する動作制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

かかる第15発明では、前記第1発明と同様に、ロボットの足平の着地位置・向きに着目し、その足平の着地位置・向きがロボットの位置および移動向き代表するものとして用いられる。そして、第15発明では、  
20 目標足跡経路の代わりに、環境依存着地許容範囲が設定され、前記推定された足平の着地向きと前記環境依存着地位置許容範囲とに基づいて、各環境依存着地位置許容範囲を満たすように、所定回数先までの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組が決定される。そして、この決定した目標着地位置・向きを少なくとも用いてロ  
25 ボットの仮想的な周期的歩容を決定した上で、その仮想的な周期的歩容に近づけるように、少なくとも次回の着地動作を規定するロボットの新

たな目標歩容を決定し、その決定された新たな目標歩容に応じてロボットの動作制御が行われる。

これにより、第 1 5 発明によれば、ロボットの継続的な安定性を保ちつつ、各回の着地毎の環境依存着地位置許容範囲を満たす（該範囲を逸脱しない）ような目標歩容を決定して、ロボットの移動を行うことができる。従って、飛び石等をロボットが移動する場合に、足平を飛び石等の着地許容領域から踏み外したりすることなく、継続的な安定性を保ちながら、ロボットを移動させることができる。

この第 1 5 発明では、前記第 2 発明と同様に、ロボットの移動経路を前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことが好ましい（第 1 6 発明）。

また、第 1 5 又は第 1 6 発明では、前記足平目標着地位置・向き決定手段は、少なくとも次の着地動作における足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定するとき、当該着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲と、前記次の着地動作に対応する前記環境依存着地許容範囲との両許容範囲の共通範囲内に該足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定し、前記目標歩容決定手段は、前記仮想的な周期的歩容を決定するために少なくとも当該次の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを用いることが好ましい（第 1 7 発明）。

これによれば、少なくとも次の目標着地位置・向きを決定するとき、その目標着地位置・向きの組を前記環境依存着地許容範囲と、自己依存着地許容範囲との共通範囲内で決定するので、環境依存着地許容範囲による着地位置・向きの制限条件だけでなく、次の着地動作を行う脚体と他の脚体との干渉等のロボット自身の機構的制約条件が考慮される。

## 13

従って、環境依存着地許容範囲による着地位置・向きの条件を満たしつつ、ロボットの脚体同士の干渉等が生じない目標歩容を決定して、ロボットの円滑な移動を行うことができる。

5       なお、第17発明では、前記自己依存着地許容範囲は、前記着地動作により着地した足平に対する、次回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることが好ましい（第18発明）。これによれば、前記第6発明と同様に、自己依存着地許容範囲を決定するときの演算負荷を減らすことができる。

10       さらに、第15～第18発明では、前記目標歩容決定手段は、少なくとも前記次回の着地動作を規定するロボットの目標歩容における目標ZMPを仮決定する手段を備え、前記足平目標着地位置・向き決定手段は、その仮決定された目標ZMPが所定の制限条件を満たさないとき、前記所定数回先までの着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作  
15       で着地する足平の前記目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正することが好ましい（第19発明）。

この第19発明によれば、前記第7発明と同様に、動力学的な安定性を保ちながら目標足跡経路に追従させ得る目標歩容を決定できる。

20       また、第15～第19発明で、前記脚式移動ロボットが、2本の脚体を備えた2足移動ロボットであるときには、前記足平の目標着地位置は、前記各足平に対して所定の位置関係を有する代表点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が同一の点となるように各足平に対してあらかじめ設定された代表点の目標位置であることが好ましい（第20発明）。これによれば、  
25       前記環境依存着地許容範囲や自己依存着地許容範囲はそれぞれ、前記代表点の位置と足平の目標着地向きとの組の許容範囲として設定されるこ

ととなるので、それらの許容範囲の設定が容易になる。

さらに、この第20発明では、前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることが好ましい（第21発明）。これによれば、前記第9発明と同様の作用効果を奏することができる。

- 5 次に、本発明の脚式移動ロボットの制御装置に係る第22発明は、複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着床動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットにおいて、前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、前記ロボットの各回の着地動作により着地
- 10 する足平の着地位置及び着地向きの組の許容範囲であって、該ロボットが移動する環境条件により定まる環境依存着地許容範囲のうち、少なくとも次回及び次次回を含む所定回数先までの各回の着地動作にそれぞれ対応する複数の環境依存着地許容範囲を設定する第1着地許容範囲設定手段と、前記足平着地位置・向き推定手段により推定された各回の着地
- 15 動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きと、次回の着地動作を行う脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件とに基づいて、次回の着地動作で着地する足平の着地位置及び着地向きの組に対する自己依存着地許容範囲を設定する第2着地許容範囲設定手段と、少なくとも前記次回の着地動作に対応して前記第1着地許容範囲設
- 20 定手段及び第2着地許容範囲設定手段によりそれぞれ設定された環境依存着地許容範囲と自己依存着地許容範囲とに基づいて、それらの両許容範囲の共通範囲内に該次回の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定する足平目標着地位置・向き決定手段と、その決定された目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いて次回の
- 25 着地動作を規定する目標歩容を決定する目標歩容決定手段と、その決定された目標歩容に応じてロボットの動作を制御する動作制御手段とを備

えたことを特徴とするものである。

かかる第22発明では、前記第1発明と同様に、ロボットの足平の着地位置・向きに着目し、その足平の着地位置・向きがロボットの位置および移動向き代表するものとして用いられる。そして、第22発明では、  
5 環境依存着地許容範囲と自己依存着地許容範囲とが設定され、それらの許容範囲に基づいて、それらの許容範囲の共通範囲に次の目標着地位置・向きの組が決定される。そして、この決定された目標着地位置・向きを少なくとも用いて次の着地動作を規定する目標歩容が決定され、その目標歩容に応じてロボットの動作制御が行われる。

- 10 これにより、第22発明によれば、各回の着地毎の環境依存着地位置許容範囲及び自己依存着地許容範囲の両者を満たす（両許容範囲の共通範囲を逸脱しない）ような目標歩容を決定して、ロボットの移動を行うことができる。従って、飛び石等をロボットが移動する場合に、足平を飛び石等の着地許容領域から踏み外したり、脚体同士が干渉したりする  
15 ことなく、ロボットを移動させることができる。

この第22発明では、前記第2発明と同様に、前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことが好ましい（第23発明）。

- 20 また、第22又は第23発明では、前記足平目標着地位置・向き決定手段は、より具体的には、次の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きを決定した後、その決定した目標着地位置及び目標着地向きと前記ロボットの機構的制約条件とに基づいて次次の着地動作で着地する足平の着地位置に対する自己依存着地許容範囲を仮決定する手段  
25 と、少なくともその仮決定した次次の着地動作に対応する自己依存着地許容範囲と該次次の着地動作に対応して前記第1着地許容範囲設定

手段が設定した次次回環境依存許容範囲とが共通範囲を持たないとき、該共通範囲を持つように前記次回の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きの少なくともいずれかを修正する手段とを備えることが好ましい（第24発明）。

- 5       これによれば、次次回環境依存許容範囲と、次回の目標着地位置・向きに対応して仮決定された次次回の着地動作に対応する自己依存着地許容範囲とが共通範囲を持たないときには、該共通範囲を持つように、先に決定した次回の目標着地位置・向きが修正される。つまり、次次回の環境依存許容範囲と、次次回の自己依存着地許容範囲とが共通範囲を持つように、次回の目標着地位置・向きが適宜、修正されつつ決定される。
- 10       換言すれば、環境依存許容範囲と自己依存許容範囲との両者の許容範囲を満たす目標着地位置・向きを将来的に継続的に決定し得るように、各回の目標着地位置・向きが決定される。その結果、飛び石等をロボットが移動するとき、その移動途中でロボットが先に進むことができなくな
- 15       うような事態を生じることなく、ロボットの継続的な移動を行うことができる。

      なお、前記第22～第24発明では、前記第2着地許容範囲設定手段は、前記着地動作により着地した足平に対する、次回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定め

20       られたマップ又は演算式に基づいて前記自己依存着地許容範囲を設定することが好ましい（第25発明）。これによれば、前記第6発明と同様に、自己依存着地許容範囲を決定するときの演算負荷を減らすことができる。

      さらに、第22～第25発明で、前記脚式移動ロボットが、2本の脚

25       体を備えた2足移動ロボットであるときには、前記足平の目標着地位置は、前記各足平に対して所定の位置関係を有する点であって、且つ前記

ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ設定された代表点の位置であることが好ましい（第26発明）。これによれば、前記環境依存着地許容範囲及び自己依存着地許容範囲はそれぞれ、前記代表点の目標位置と足平の目標着地向きとの組の許容範囲として設定されることとなるので、それらの許容範囲の設定が容易になる。

さらにこの第26発明では、前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることが好ましい（第27発明）。これによれば、前記第9発明と同様の作用効果を奏することができる。

次に、本発明の脚式移動ロボットの足跡決定装置に係る第28発明は、複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットの各回の着地動作により着地する脚体の足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定する足跡決定装置であって、前記ロボットの目標足跡経路を設定する目標経路設定手段を備え、前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを、少なくとも1つ前の回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと、前記目標足跡経路とに基づいて決定することを特徴とするものである。

かかる第28発明では、前記第1発明と同様に、ロボットの足平の着地位置・向きに着目し、その足平の着地位置・向きがロボットの位置および移動向き代表するものとして用いられる。そして、第28発明では、ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置・向きを、少なくとも1つ前の回の着地動作で着地する足平の目標着地位置・向きと、前記目標足跡経路とに基づいて決定する。従って、ロボットの移動開始前等に、目標足跡経路に追従するような目標着地位置・向きの列、すな

わち目標足跡を適正に決定できる。

かかる第28発明では、前記第2発明と同様に、前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであることが好ましい（第29発明）。

- また、第28又は第29発明では、前記ロボットの各回の着地動作で
- 5 着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、当該着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲内に当該着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定することが好ましい（第30発明）。
- 10 この第30発明によれば、各回の目標着地位置・向きを決定するとき、その目標着地位置・向きの組を前記自己依存着地許容範囲内で決定するので、目標足跡経路への追従性だけでなく、着地動作を行う脚体と他の脚体との干渉等のロボット自身の機構的制約条件が考慮される。従って、目標足跡経路に追従させつつ、ロボットの脚体同士の干渉等が生じない
- 15 目標着地位置・向きの列（目標足跡）を決定することができる。

- なお、第30発明では、前記ロボットの任意の第N回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するときに用いる前記自己依存着地許容範囲は、第N-1回の着地動作により着地する足平に対する、第N回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を
- 20 規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることが好ましい（第31発明）。これによれば、前記第6発明と同様に、自己依存着地許容範囲を決定するときの演算負荷を減らすことができる。

- また、第28～第31発明では、前記ロボットの任意の第N回の着地
- 25 動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、該第N回の着地動作を含めて所定数回先の着地動作までの足平の目標着



地位置及び目標着地向きを、第 $N-1$ 回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて仮決定する目標着地位置・向き仮決定手段と、その仮決定した所定数回先の着地動作までの目標着地位置及び目標着地向きを用いて少なくとも前記第 $N$ 回の着地動作を規定するロボットの仮目標歩容を決定する仮目標歩容決定手段と、その決定した仮目標歩容に対応する目標ZMPが所定の制限条件を満たすか否かを判断し、満たさない場合には、前記第 $N$ 回の着地動作に係わる足平の目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正して、該第 $N$ 回の着地動作に係わる足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定する目標着地位置・向き修正手段とを備えることが好ましい（第32発明）。

この第32発明によれば、前記第 $N$ 回の目標着地位置・向きを含めて所定数回先までの目標着地位置・向き（第 $N$ 回の目標着地位置・向きのみでもよい）を仮決定しておき、その仮決定した目標着地位置・向きを用いて少なくとも第 $N$ 回の着地動作を規定する仮目標歩容が決定される。そして、その仮目標歩容の目標ZMPが所定の制限条件（具体的には該目標ZMPが存在可能範囲の条件）を満たさない場合には、仮決定した第 $N$ 回の目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正して、該第 $N$ 回の目標着地位置・向きが決定される。このため、前記第7発明と同様の考え方によって、動力学的な安定性を確保して目標足跡に追従させ得る目標着地位置・向きの列（目標足跡）を決定できる。

また、第28～第32発明では、前記脚式移動ロボットが、2本の脚体を有する2足移動ロボットであるときには、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ

定めた代表点の目標位置であり、前記目標足跡経路は、前記代表点が近づくべき経路であることが好ましい（第33発明）。さらに、この第33発明では、前記代表点は、両足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることが好ましい（第34発明）。これらの第33発明、第34発明によれば、それぞれ前記第8発明、第9発明と同様の作用効果を奏することができる。

次に、本発明の脚式移動ロボットの足跡決定装置に係る第35発明は、複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットの各回の着地動作により着地する脚体の足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定する足跡決定装置であって、前記ロボットの各回の着地動作により着地する足平の着地位置及び着地向きの組の許容範囲であって、該ロボットが移動する環境条件により定まる環境依存着地許容範囲を設定する足平着地許容範囲設定手段と、前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を、少なくとも1つ前の回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと、前記環境依存着地許容範囲とに基づいて決定することを特徴とするものである。

この第35発明では、前記第1発明と同様に、ロボットの足平の着地位置・向きに着目し、その足平の着地位置・向きがロボットの位置および移動向き代表するものとして用いられる。そして、第35発明では、ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置・向きの組を、少なくとも1つ前の回の着地動作で着地する足平の目標着地位置・向きと、前記環境依存着地許容範囲とに基づいて決定する。従って、ロボットの移動開始前等に、ロボットの足平が飛び石等の着地許容領域から踏み外したりすることのない目標着地位置・向きの列、すなわち目標足跡を適正に決定できる。

この第35発明では、前記第2発明と同様に、前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであることが好ましい（第36発明）。

また、第35又は第36発明では、前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、当該着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲と、当該着地動作で着地する足平に対応する前記環境依存着地許容範囲とに基づいて、両許容範囲の共通範囲内に該足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定することが好ましい（第37発明）。

- 10      これによれば、各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組が、前記環境依存着地許容範囲と、自己依存着地許容範囲との共通範囲内で決定されるので、環境依存着地許容範囲による着地位置・向きの制限条件だけでなく、脚体同士の干渉等のロボット自身の機構的制約条件が考慮される。従って、環境依存着地許容範囲による着
- 15      地位置・向きの条件を満たしつつ、ロボットの脚体同士の干渉等が生じないような目標着地位置・向きの列（目標足跡）を決定することができる。

- なお、第37発明では、前記ロボットの任意の第N回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するときに用いる前
- 20      記自己依存着地許容範囲は、第N-1回の着地動作により着地する足平に対する、第N回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることが好ましい（第38発明）。これによれば、前記第6発明と同様に、自己依存着地許容範囲を決定するときの演算負荷を減らす
- 25      ことができる。

また、第37又は第38発明では、前記ロボットの任意の第N回の着

地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、該第N回の着地動作を含めて所定数回先の着地動作までの足平の目標着地位置及び目標着地向きを、第N-1回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと前記所定数回先までの各回の着地動作に対応する前記環境依存着地許容範囲と、該所定数回先までの各回の着地動作に対応する前記自己依存着地許容範囲とに基づいて仮決定する目標着地位置・向き仮決定手段と、その仮決定した所定数回先の着地動作までの目標着地位置及び目標着地向きを用いて少なくとも前記第N回の着地動作を規定するロボットの仮目標歩容を決定する仮目標歩容決定手段と、その決定した仮目標歩容に対応する目標ZMPが所定の制限条件を満たすか否かを判断し、満たさない場合には、前記第N回の着地動作に係わる足平の目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正して、該第N回の着地動作に係わる足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定する目標着地位置・向き修正手段とを備えることが好ましい（第39発明）。

この第39発明によれば、前記第N回の目標着地位置・向きを含めて所定数回先までの目標着地位置・向き（第N回の目標着地位置・向きのみでもよい）をそれぞれの回の着地動作に対応する環境依存着地許容範囲と自己依存着地許容範囲とに基づいて仮決定しておき、その仮決定した目標着地位置・向きを用いて少なくとも第N回の着地動作を規定する仮目標歩容が決定される。そして、その仮目標歩容の目標ZMPが所定の制限条件（具体的には該目標ZMPが存在可能範囲の条件）を満たさない場合には、仮決定した第N回の目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正して、該第N回の目標着地位置・向きが決定される。このため、前記第7発明と同様の考え方によって、動力学的な安定性を確保しつつ、前記環境依存着地許容範囲及び自己依存着地

## 23

許容範囲の制約条件を満たす目標着地位置・向きの列（目標足跡）を決定できる。

また、前記第35～第39発明で、前記脚式移動ロボットが、2本の脚体を有する2足移動ロボットであるときには、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定めた代表点の目標位置であることが好ましい（第40発明）。これによれば、環境依存着地許容範囲や自己依存着地許容範囲はそれぞれ、前記代表点の目標位置と足平の目標着地向きとの許容範囲として設定されることとなるので、それらの許容範囲の設定が容易になる。

さらにこの第40発明では、前記代表点は、両足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることが好ましい（第41発明）。これによれば、前記第9発明と同様の作用効果を奏することができる。

15

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施形態における脚式移動ロボットとしての2足移動ロボットの全体的構成の概略を示す概略図、図2は図1の各脚体の足平部分の構成を概略的に示す概略図、図3及び図4はそれぞれ各脚体の足平部分の詳細構成を示す側面視の断面図及び底面図、図5は図1のロボットに備えた制御ユニットの構成を示すブロック図、図6は図5の制御ユニットの機能的構成を示すブロック図である。図7はロボットの走行歩容を示す説明図、図8（a）、（b）はそれぞれ目標歩容の床反力鉛直成分、目標ZMPの設定例を示すグラフ、図9は第1実施形態における制御ユニットの要部の処理を示すフローチャート、図10は図9のフローチャートの自己位置姿勢推定処理を示すフローチャート、図11は

25

図9のフローチャートの自己位置姿勢推定処理を説明するための図、図12は図9のフローチャートの処理で決定する定常旋回歩容に関する説明図、図13は図9のフローチャートの軌道誘導処理を示すフローチャート、図14～図19は軌道誘導処理を説明するための図、図20は図9のフローチャートの軌道誘導補正処理を示すフローチャートである。図21は第2実施形態での軌道誘導処理を示すフローチャート、図22及び図23は第2実施形態の軌道誘導処理を説明するための図、図24は第2実施形態の軌道誘導補正処理を示すフローチャートである。図25は第3実施形態での軌道誘導処理を示すフローチャート、図26は第3実施形態の軌道誘導処理を説明するための図、図27は第3実施形態の軌道誘導補正処理を示すフローチャートである。図28は第4実施形態の軌道誘導処理を示すフローチャート、図29は第4実施形態の軌道誘導処理を説明するための図、図30は第4実施形態の軌道誘導補正処理を示すフローチャートである。図31は第5実施形態の軌道誘導処理を示すフローチャート、図32は第5実施形態の軌道誘導処理を説明するための図、図33及び図34はそれぞれ図31のフローチャートの要部処理を詳細に示すフローチャート及びその要部処理の説明図、図35は第5実施形態の軌道誘導補正処理を示すフローチャートである。図36は第7実施形態に係る足跡決定処理を示すフローチャートである。図37は目標経路の他の例を説明するための図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照してこの発明の実施形態に係る脚式移動ロボットの制御装置を説明する。尚、脚式移動ロボットとしては2足移動ロボットを例にとる。

図1は、この実施形態に係る脚式移動ロボットとしての2足移動ロボ

ットを全体的に示す概略図である。

図示の如く、2足移動ロボット（以下、ロボットという）1は上体（ロボット1の基体）3から下方に延設された左右一対の脚体（脚部リンク）2，2を備える。両脚体2，2は同一構造であり、それぞれ6個の関節を備える。その6個の関節は上体3側から順に、股（腰部）の回旋（回転）用（上体3に対するヨー方向の回転用）の関節10R，10L（符号R，Lはそれぞれ右側脚体、左側脚体に対応するものであることを意味する符号である。以下同じ）と、股（腰部）のロール方向（X軸まわり）の回転用の関節12R，12Lと、股（腰部）のピッチ方向（Y軸まわり）の回転用の関節14R，14L、膝部のピッチ方向の回転用の関節16R，16Lと、足首のピッチ方向の回転用の関節18R，18Lと、足首のロール方向の回転用の関節20R，20Lとから構成される。

各脚体2の足首の2つの関節18R（L），20R（L）の下部には、各脚体2の先端部を構成する足平（足部）22R（L）が取着されると共に、両脚体2，2の最上位には、各脚体2の股の3つの関節10R（L），12R（L），14R（L）を介して前記上体3が取り付けられている。上体3の内部には、詳細を後述する制御ユニット60などが格納される。なお、図1では図示の便宜上、制御ユニット60を上体3の外部に記載している。

上記構成の各脚体2においては、股関節（あるいは腰関節）は関節10R（L），12R（L），14R（L）から構成され、膝関節は関節16R（L）から構成され、足首関節は関節18R（L），20R（L）から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク24R（L）で連結され、膝関節と足首関節とは下腿リンク26R（L）で連結される。

尚、上体3の上部の両側部には左右一対の腕体5，5が取り付けられ

ると共に、上体3の上端部には頭部4が配置される。これらの腕体5、5及び頭部4は、本発明の要旨と直接的な関連を有しないため詳細な説明を省略する。

上記の構成により、各脚体2の足平22R(L)は、上体3に対して6つの自由度を与えられている。そして、ロボット1の歩行等の移動中に、両脚体2, 2を合わせて $6 * 2 = 12$ 個（この明細書で「\*」はスカラに対する演算としては乗算を、ベクトルに対する演算としては外積を示す）の関節を適宜な角度で駆動することで、両足平22R, 22Lの所望の運動を行うことができる。これにより、ロボット1は任意に3次元空間を移動することができる。

図1に示す如く、各脚体2の足首関節18R(L), 20R(L)の下方には足平22R(L)との間に公知の6軸力センサ50が介装されている。該6軸力センサ50は、各脚体2の足平22R(L)の着地の有無、および各脚体2に作用する床反力（接地荷重）等を検出するためのものであり、該床反力の並進力の3方向成分 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ 並びにモーメントの3方向成分 $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ の検出信号を制御ユニット60に出力する。また、上体3には、Z軸（鉛直方向（重力方向））に対する上体3の傾き（姿勢角）およびその角速度等を検出するための傾斜センサ54が備えられ、その検出信号が該傾斜センサ54から制御ユニット60に出力される。この傾斜センサ54は、図示を省略する3軸方向の加速度センサおよび3軸方向のジャイロセンサを備え、これらのセンサの検出信号が上体3の傾きおよびその角速度を検出するために用いられると共に、ロボット1の自己位置姿勢を推定するために用いられる。また、詳細構造の図示は省略するが、ロボット1の各関節には、それを駆動するための電動モータ64（図5参照）と、その電動モータ64の回転量（各関節の回転角）を検出するためのエンコーダ（ロータリエン



コーダ) 65 (図5参照) とが設けられ、該エンコーダ65の検出信号が該エンコーダ65から制御ユニット60に出力される。

さらに、図1では図示を省略するが、ロボット1の適宜な位置にはジョイスティック (操作器) 73 (図5参照) が設けられ、そのジョイスティック73を操作することで、直進移動しているロボット1を旋回させるなど、ロボット1の歩容に対する要求を必要に応じて制御ユニット60に入力できるように構成されている。

図2は本実施形態における各脚体2の先端部分 (各足平22R (L) を含む) の基本構成を概略的に示す図である。同図に示すように、各足平22R (L) の上方には、前記6軸力センサ50との間にばね機構70が装備されると共に、足底 (各足平22R, Lの底面) にはゴムなどからなる足底弾性体71が貼られている。これらのばね機構70及び足底弾性体71によりコンプライアンス機構72が構成されている。ばね機構70は詳細は後述するが、足平22R (L) の上面部に取り付けられた方形状のガイド部材 (図2では図示省略) と、足首関節18R (L) (図2では足首関節20R (L) を省略している) および6軸力センサ50側に取り付けられ、前記ガイド部材に弾性材 (ゴムやばね) を介して微動自在に収納されるピストン状部材 (図2では図示省略) とから構成されている。

図2に実線で表示された足平22R (L) は、床反力を受けていないときの状態を示している。各脚体2が床反力を受けると、コンプライアンス機構72のばね機構70と足底弾性体71とがたわみ、足平22R (L) は図中に点線で例示したような位置姿勢に移る。このコンプライアンス機構72の構造は、例えば本出願人が先に提案した特開平5-305584号公報に詳細に説明されている如く、着地衝撃を緩和するためだけでなく、制御性を高めるためにも重要なものである。

上記コンプライアンス機構 72 を含めた足平 22R (L) (以下、足平機構 22R (L) と称することがある。) のより詳細な構成を図 3 及び図 4 を参照してさらに説明する。図 3 は足平機構 22R (L) の側面示の断面図、図 4 は該足平機構 22R (L) の底面側から見た平面図である。

足平機構 22R (L) は、大略平板状の足平プレート部材 102 を骨格部材として備えている。この足平プレート部材 102 は、その前端部 (つま先部) と後端部 (踵部) とが若干上方に湾曲されているが、他の部分は平坦な平板状になっている。また、足平プレート部材 102 の上  
10 面部には、横断面方形状のガイド部材 103 がその軸心を上下方向に向けて固設されている。このガイド部材 103 の内部には、該ガイド部材 103 の内周面に沿うようにして略上下方向に移動可能に設けられた可動板 (ピストン状部材) 104 が設けられ、該可動板 104 が足首関節 18R (L), 20R (L) に 6 軸力センサ 50 を介して連結されている。  
15

また、可動板 104 は、その下面の周縁部がばね、ゴム等の弾性材からなる複数の弾性部材 106 (図ではばねとして記載している) を介して足平プレート部材 102 の上面部に連結されている。従って、足平プレート部材 102 は、弾性部材 106、可動板 104 及び 6 軸力センサ  
20 50 を介して足首関節 18R (L) に連結されている。尚、ガイド部材 103 の内部 (可動板 104 の下側の空間) は、図示を省略する穴や隙間を介して大気側に開放されており、大気中の空気がガイド部材 103 の内部に入出自在となっている。また、上記ガイド部材 103、可動板 104、及び弾性部材 106 は前記図 2 に示したばね機構 70 を構成するものである。  
25

足平プレート部材 102 の底面 (下面) には、前記図 2 に示した足底

弾性体 7 1 としての接地部材 7 1 が取付されている。該接地部材 7 1 は、足平機構 2 2 R (L) の接地状態で、該足平プレート部材 1 0 2 と床面との間に介在させる弾性部材（床面に直接的に接触する弾性部材）であり、本実施形態では、足平プレート部材 1 0 2 の接地面の四隅（足平プレート部材 1 0 2 のつま先部の両側部並びに踵部の両側部）に固着されている。

また、接地部材 7 1 は、本実施形態では、比較的軟質のゴム材から成る軟質層 1 0 7 a と、比較的硬質のゴム材から成る硬質層 1 0 7 b とを上下に重合してなる 2 層構造に形成され、硬質層 1 0 7 b が、脚体 2 の着床時に直接的に床面に接触する接地面部として最下面側に設けられている。

足平機構 2 2 R (L) には、上記の構成の他、着地衝撃緩衝装置 1 0 8 が備えられている。この着地衝撃緩衝装置 1 0 8 は、足平プレート部材 1 0 2 の底面に取付された袋状部材 1 0 9 と、該袋状部材 1 0 9 の内部に対して圧縮性流体としての空気（大気中の空気）を入出させるための流通路 1 1 0 とを備えている。

袋状部材 1 0 9 は、その周囲に前記接地部材 7 1 が存するようにして、足平プレート部材 1 0 2 の底面の大略中央部に設けられている。この袋状部材 1 0 9 は、ゴム等の弾性材により変形自在に構成されており、外力による弾性変形が生じていない自然状態では、図 3 に実線で示すように、上方に開口した円筒容器形状を呈する。そして、該袋状部材 1 0 9 は、その開口端部が全周にわたって足平プレート部材 1 0 2 の底面に固着され、該足平プレート部材 1 0 2 により閉蓋されている。また、袋状部材 1 0 9 は、円筒容器形状を呈する自然状態では、該袋状部材 1 0 9 の底部が前記接地部材 7 1 よりも下方に突出するように設けられている。つまり、該袋状部材 1 0 9 の高さ（足平プレート部材 1 0 2 の下面から

袋状部材 109 の底部までの距離) は、接地部材 71 の厚さよりも大きいものとされている。従って、足平プレート部材 102 が接地部材 71 を介して接地した状態 (脚部 2 の着床状態) では、袋状部材 109 は、  
5 図 3 に仮想線で示すように、床反力により袋状部材 109 の高さ方向に圧縮される。

尚、本実施形態では、袋状部材 109 が円筒容器形状を呈する自然状態は該袋状部材 109 の膨張状態である。そして、袋状部材 109 は、弾性材により構成されているため、圧縮されたとき、自然状態の形状 (円筒容器形状) への形状復元力を有する。

10 前記流通路 110 は、袋状部材 109 に対する空気の流入・流出を行う流入・流出手段を構成するものであり、本実施形態では、袋状部材 109 の内部と前記ガイド部材 103 の内部とを連通させるように足平プレート部材 102 に穿設された流通孔である。この場合、前述のように、ガイド部材 103 の内部は大気側に開放されているので、該流通路 11  
15 0 は、袋状部材 109 の内部を大気側に連通させていることとなる。従って、袋状部材 109 の内部には、大気中の空気が流通路 110 を介して入出自在となっており、該袋状部材 109 の膨張状態 (自然状態) では、該袋状部材 109 内には空気が充填され、その内部の圧力は大気圧と同等になる。また、流通路 110 は絞り通路となっており、袋状部材  
20 109 の内部に空気が入出する際には流体抵抗を生じるようになっている。

図 5 は制御ユニット 60 の構成を示すブロック図である。該制御ユニット 60 はマイクロコンピュータにより構成されており、CPU からなる第 1 の演算装置 90 及び第 2 の演算装置 92、A/D 変換器 80、カウンタ 86、D/A 変換器 96、RAM 84、ROM 94、並びにこれ  
25 らの間のデータ授受を行うバスライン 82 を備えている。この制御ユニ

## 31

ット60では、各脚体2の6軸力センサ50、傾斜センサ54（加速度センサおよびレートジャイロセンサ）、ジョイスティック73等の出力信号はA/D変換器80でデジタル値に変換された後、バスライン82を介してRAM84に送られる。またロボット1の各関節のエンコーダ65（ロータリーエンコーダ）の出力は、カウンタ86を介してRAM84に入力される。

前記第1の演算装置90は後述の如く目標歩容を生成すると共に、関節角変位指令（各関節の変位角もしくは各電動モータ64の回転角の指令値）を算出し、RAM84に送出する。また第2の演算装置92はRAM84から関節角変位指令と、前記エンコーダ65の出力信号とに基づいて検出された関節角の実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な操作量を算出してD/A変換器96とサーボアンプ64aとを介して各関節を駆動する電動モータ64に出力する。

図6は、この実施形態に係る脚式移動ロボットの制御装置の機能的構成を全体的に示すブロック図である。この図6中の「実ロボット」の部分以外の部分が制御ユニット60が実行する処理機能（主として第1の演算装置90及び第2の演算装置92の機能）によって構成されるものである。なお、以下の説明では、脚体2の左右を特に区別する必要がないときは、前記符号R、Lを省略する。

以下説明すると、制御ユニット60は、ロボット1の目標歩容を自在かつリアルタイムに生成して出力する歩容生成装置200を備えている。この歩容生成装置200が出力する目標歩容は、目標上体位置姿勢軌道（上体3の目標位置及び目標姿勢の軌道）、目標足平位置姿勢軌道（各足平22の目標位置及び目標姿勢の軌道）、目標腕姿勢軌道（各腕体5の目標姿勢の軌道）、目標全床反力中心点（目標ZMP）軌道、目標全床反力軌道から構成される。なお、脚体2や腕体5以外に上体3に対し

## 3 2

て可動な部位を備える場合には、その可動部位の目標位置姿勢軌道が目標歩容に加えられる。

ここで、本発明の実施形態での用語の意味あるいは定義について補足しておく。上記歩容における「軌道」は時間的変化のパターン（時系列パターン）を意味し、以下の説明では、「軌道」の代わりに「パターン」と称することもある。また、各部位の「姿勢」は、該部位の傾きと向きとを総称したものである。ここで、「傾き」は該部位の鉛直方向となす角度であり、「向き」は該部位の前方向を示すベクトルを水平面に投影したベクトルの向きである。例えば上体姿勢のうちの傾きは、Z軸（鉛直軸）に対するロール方向（X軸回り）の上体3の傾斜角（姿勢角）と、Z軸に対するピッチ方向（Y軸回り）の上体3の傾斜角（姿勢角）とからなる。また、上体3の向きは、上体3の前方向を示すベクトルを水平面に投影したベクトルのヨー方向（Z軸回り）の回転角で表される。なお、足平姿勢は各足平22に固定的に設定された2軸の空間的な方位角で表される。また、特に、足平22の着地姿勢に関しては、その着地姿勢は、基本的には着地した足平22の向きを表し、具体的には着地した足平22のかかとからつま先に向かうベクトルを水平面に投影したベクトルの向きを表す。また、目標腕姿勢は、腕体5、5の全ての部位に関する上体3に対する相対的な姿勢で表される。

上体位置は、上体3の所定位置、具体的には上体3のあらかじめ定められた代表点の位置を意味する。同様に、足平位置は、各足平22R、22Lのあらかじめ定められた代表点の位置を意味する。なお、上体速度は、上体3の上記代表点の移動速度を意味し、足平速度は、各足平22R、22Lの上記代表点の移動速度を意味する。

目標上体位置姿勢等の目標歩容に関し、以下の説明では、誤解を生じるおそれがない場合には、しばしば「目標」を省略する。また、歩容の

## 3 3

うちの、床反力に係わる構成要素以外の構成要素、すなわち足平位置姿勢、上体位置姿勢等、ロボット 1 の運動に係わる歩容を総称的に「運動」という。

- 各足平 2 2 R, L の床反力（並進力及びモーメントからなる床反力）を「各足平床反力」と呼び、ロボット 1 の全ての（2 本の）足平 2 2 R, 2 2 L の床反力の合力を「全床反力」と呼ぶ。ただし、以下の説明においては、各足平床反力に関してはほとんど言及しないので、断らない限り、「床反力」は「全床反力」と同義として扱う。

- 目標床反力は、一般的には、作用点とその点に作用する力（並進力）と力のモーメントによって表現される。作用点はどこにとっても良いので、同一の目標床反力でも無数の表現が考えられるが、特に前述の目標床反力中心点を作用点にして目標床反力を表現すると、力のモーメントは、鉛直軸成分を除けば、0 になる。

- 尚、動力学的平衡条件を満足する歩容では、目標運動軌道から算出される Z M P（目標運動軌道から算出されるロボット 1 の慣性力と重力との合力がその点まわりに作用するモーメントが、鉛直軸成分を除いて 0 になる点）と目標全床反力中心点是一致的ことから、目標全床反力中心点軌道の代わりに目標 Z M P 軌道を与えても同じことである（詳細は、例えば本出願人による P C T 公開公報 WO/02/40224 を参照）。

このような背景から、P C T 公開公報 WO/02/40224 の明細書では目標歩容を次のように定義していた。

- a) 広義の目標歩容とは、1 歩ないしは複数歩の期間の目標運動軌道とその目標床反力軌道との組である。
- b) 狭義の目標歩容とは、1 歩の期間の目標運動軌道とその Z M P 軌道との組である。

c)一連の歩容は、いくつかの歩容がつながったものとする。

ロボット1の歩行を行う場合においては、本出願人が先に特開平 10-86080 号公報で提案した上体高さ決定手法によって上体鉛直位置（上体高さ）が決定されると、床反力の並進力成分は従属的に決定されるので、

- 5 目標歩容の床反力に関して明示的に設定すべき物理量としては、ZMP だけで十分であった。したがって、PCT 公開公報 WO/02/40224 の明細書では、狭義の目標歩容としては、上記の b) で十分であった。それに対し、ロボット1の走行を行う場合には、床反力鉛直成分も制御上重要であるので、該床反力鉛直成分を明示的に設定することが好ましい。
- 10 そこで、本願出願人が先に提案した PCT 出願（PCT/JP02/13596）等では、狭義の目標歩容として、次の b'）を採用した。

b'）狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道とその ZMP 軌道と床反力鉛直成分軌道の組である。

- この明細書では以降、特にことわらない限り、目標歩容は狭義の目標
- 15 歩容の意味で使用する。また、目標歩容の「1歩」は、ロボット1の片方の脚体2が着地してからもう一方の脚体2が着地するまでの意味で使用する。

- 歩容における両脚支持期とは言うまでもなく、ロボット1がその自重を両脚体2，2で支持する期間、片脚支持期とはいずれか一方のみの脚
- 20 体2でロボット1の自重を支持する期間、空中期とは両脚体2，2が床から離れている（空中に浮いている）期間を言う。

- 片脚支持期においてロボット1の自重を支持しない側の脚体2を「遊脚」と呼び、自重を支持する側の脚体2を「支持脚」と呼ぶ。ロボット1の歩行では、両脚支持期と片脚支持期とが交互に繰り返され、ロボッ
- 25 ト1の走行では片脚支持期と空中期とが交互に繰り返される。この場合、走行の空中期では、両脚体2，2とも、ロボット1の自重を支持しない



## 35

こととなるが、該空中期の直前の片脚支持期において遊脚であった脚体 2、支持脚であった脚体 2 をそれぞれ該空中期においても遊脚、支持脚と呼ぶ。

また、目標上体姿勢、目標上体位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢  
5 等、目標歩容におけるロボット 1 の各部の位置姿勢は支持脚座標系で記述される。支持脚座標系とは、支持脚の足平 2 2 の接地面辺りに原点を持つ床面に固定された座標系である。より詳細には、支持脚座標系は、本出願人の特許 3273443 号に記載されているように、支持脚の足平 2 2 を接地面との間で滑らさないで、水平姿勢になるまで回転させた時の、  
10 該支持脚の足首関節の中心から接地面への垂直投影点を原点とし、該支持脚足平 2 2 のつま先に向かう水平軸（足平 2 2 の前後方向の軸）を X 軸として、鉛直軸を Z 軸、これらの X 軸、Z 軸に直交する座標軸（足平 2 2 の左右方向の軸）を Y 軸とする座標系である。

本発明の実施形態に係る歩容生成装置 200 は、2 歩先までの遊脚の  
15 足平 2 2 の着地位置姿勢、着地時刻の要求値（目標値）を入力として、目標上体位置姿勢軌道、目標足平位置姿勢軌道、目標 ZMP 軌道、目標床反力鉛直成分軌道、及び目標腕姿勢軌道から構成される目標歩容を生成する。このとき、これらの軌道を規定するパラメータ（これを歩容パラメータと呼ぶ）の一部は、歩容の継続性を満足するように修正される。

20 なお、2 歩先までの遊脚の足平 2 2 の着地位置姿勢の要求値は、図 6 に示す軌道誘導部 220 により後述するように決定されて、歩容生成装置 200 に入力される。また、図 6 に示すように軌道誘導部 220 には、移動計画部 222 からロボット 1 の目標経路（後述する目標足跡経路）、または飛び石や階段などの着地許容範囲（後述する環境依存着地位置向  
25 き許容範囲）が与えられると共に、自己位置姿勢推定部 224 から、実上体姿勢の推定値である推定上体姿勢と、着地した遊脚（着地した後、

## 36

支持脚となった遊脚) の実際の着地位置・向きの推定値 (より詳しくは後述する推定支持脚座標系の位置・向き) が与えられる。なお、環境依存着地位置姿勢許容範囲は、後述する第5実施形態に係わるものであり、第1～第4実施形態、第6実施形態では、軌道誘導部220には、移動  
5 計画部222から目標経路が与えられる。

また、歩容生成装置200は、ロボット1の片方の脚体2が着地してから他方の脚体2が着地するまでの1歩分の目標歩容 (前記狭義の意味での目標歩容) を単位として、その1歩分の目標歩容を順番に生成する。ここで、現在あるいはこれから生成しようとしている歩容を「今回歩  
10 容」、その次の歩容を「次回歩容」、さらにその次の歩容を「次次回歩容」と呼ぶ。また、「今回歩容」の1つ前に生成した目標歩容を「前回歩容」と呼ぶ。

歩容生成装置200が生成する目標歩容の一部を例示的に概説すると、例えば目標足平位置姿勢軌道は、本出願人による特許3233450号に開  
15 示した有限時間整定フィルタを用いて生成される。この有限時間整定フィルタによる足平位置姿勢軌道の生成処理では、例えば足平位置軌道は、目標着地位置 (着地位置の要求値) に向かって足平22を徐々に加速しながら移動を開始し、目標着地時刻 (着地時刻の要求値) までに徐々に速度を0またはほぼ0にまで減速し、該目標着地時刻に目標着地位置に  
20 到達して停止するように生成される。足平姿勢軌道についても同様である。これにより生成される目標足平位置姿勢軌道は、着地瞬間における対地速度が0またはほぼ0になるため、特にロボット1の走行を行う場合に、前記空中期からの着地時における着地衝撃を小さくできる。

また、図7に示すように人間が走行を行う場合と同様の形態でロボッ  
25 ト1の走行を行う場合には、例えば目標床反力鉛直成分軌道および目標ZMP軌道 (詳しくは支持脚座標系のX軸方向 (支持脚足平22の前後

方向)での目標ZMP軌道)は、それぞれ図8(a)、図8(b)に実線で示すようなパターンで設定される。ここで、図7の第1番目~第3番目の図は、それぞれ片脚支持期の開始時、中間時点、終了時におけるロボット1の両脚体2, 2の運動状態を模式的に示し、第4番目及び第5番目の図は、それぞれ空中期の中間時点、空中期の終了時(次の片脚支持期の開始時)におけるロボット1の両脚体2, 2の運動状態を模式的に示している。

ロボット1の走行を行う場合には、目標床反力鉛直成分軌道は、基本的には、片脚支持期では上に凸のパターンとなり、空中期では0に維持される。なお、ロボット1の歩行を行う場合には、目標床反力鉛直成分軌道は、例えば図8(a)に二点鎖線で示すように設定される。この場合、二点鎖線のうちの上に凸の部分が両脚支持期に対応し、下に凸の部分が片脚支持期に対応する。また、目標ZMPは走行、歩行のいずれであっても、基本的には、ロボット1の脚体2の接地面内(より詳しくは所謂、支持多角形内)の中央付近に設定される。

図9は、歩容生成装置200の歩容生成処理、図6に示す自己位置姿勢推定部224の自己位置姿勢推定処理、並びに図6に示す軌道誘導部220の軌道誘導処理を示すフローチャート(構造化フローチャート)である。

以下にこのフローチャートを説明する。

まずS010において時刻 $t$ を0に初期化するなど種々の初期化作業が行われる。

次いでS012を経てS014に進み、制御周期(制御ユニット60の演算処理周期)毎のタイマ割り込みを待つ。制御周期は $\Delta t$ である。

次いでS016に進み、前記自己位置姿勢推定部224の自己位置姿勢推定処理が行われる。この自己位置姿勢推定処理は、ロボット1が移

動する床（地面）に固定された座標系（グローバル座標系）でのロボット1の実際の位置及び向きを推定する処理であり、例えば図10のフローチャートに示すように行われる。なお、ここで説明する自己位置姿勢推定処理は、本願と同日の出願（特願2002-127066号を優先権の主張の基礎とするPCT出願、発明の名称「脚式移動ロボットの自己位置推定装置」）にて提案している手法のうちの第3実施形態を用いるものであり、同PCT出願にて詳細に説明されている。そこで、以下の自己位置姿勢推定処理の説明は、簡略的な説明に留める。

この自己位置姿勢推定処理は、ロボット1の支持脚足平22の位置姿勢に対応する支持脚座標系の位置姿勢（より正確には、グローバル座標系での支持脚座標系の位置と鉛直軸回りの向き）を、該支持脚足平22の実際の位置及び向き（鉛直軸回りの向き）を代表するものとして推定する処理である。より詳しくは、自己位置姿勢推定処理は、ロボット1の1歩毎の着地動作で着地して新たに支持脚足平となる遊脚足平22の着地位置姿勢を代表する支持脚座標系の実際の位置及び向き（鉛直軸回りの向き）を推定する処理、換言すれば、グローバル座標系でのロボット1の足跡の位置及び向きを推定する処理である。なお、支持脚座標系の向きは、より詳しくは、支持脚座標系のX軸（支持脚足平22の前後方向の水平軸）の鉛直軸回りの向きとして表される。

以下に上記自己位置姿勢推定処理を図10を参照して説明すると、まず、S2200において、上体3の傾斜センサ54に備えたジャイロセンサの検出値、すなわち上体3の角速度（3軸方向の角速度）の検出値を積分する（累積加算）ことにより、実際の上体姿勢の推定値である推定上体姿勢が求められる。この推定上体姿勢はグローバル座標系で記述される。なお、推定上体姿勢のうちの傾き成分、すなわち、鉛直軸に対する傾斜角に関しては、ジャイロセンサの検出値の積分誤差の蓄積（ド

リフト) を抑制するために、傾斜センサ 54 に備えた加速度センサによって検出される重力方向を用いてドリフト補正が行われる。

次いで S 2 2 0 2 に進み、制御周期の間におけるグローバル座標系から見た推定上体姿勢の変化量 (前回の制御周期 (時刻  $t - \Delta t$ ) での推定上体姿勢と今回の制御周期 (時刻  $t$ ) での推定上体姿勢との差) と、  
5 制御周期の間におけるグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢の変化量 (前回の制御周期での目標上体姿勢と今回の制御周期での目標上体姿勢との差) との差 (以下、上体姿勢変化量差という) を算出する。  
なお、グローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢とは、現在の推定  
10 支持脚座標系上で、1 歩の間、ロボット 1 の姿勢傾きやスピンが発生することなく、ロボット 1 が目標歩容通りに運動したと仮定した場合のグローバル座標系から見た上体姿勢のことである。ただし、推定支持脚座標系とは、実際のロボット 1 の支持脚足平 2 2 の位置姿勢に対応した支持脚座標系である。より詳しくは、推定支持脚座標系は、実際のロボッ  
15 ト 1 の支持脚足平 2 2 を、その位置姿勢から接地面との間で滑らさないで水平まで回転させた時の、該支持脚の足首関節の中心から接地面への垂直投影点を原点とし、該支持脚足平 2 2 のつま先に向かう水平軸を X 軸とし、鉛直軸を Z 軸、これらに直交する座標軸を Y 軸にとった座標系である。結局、本実施形態においてはロボット 1 の自己位置の推定値と  
20 して推定支持脚座標系の位置姿勢 (位置及び鉛直軸回りの向き) が推定される。なお、推定支持脚座標系の原点の位置および座標軸の向きは、グローバル座標系によって表される。

また、S 0 1 0 の初期化処理において、推定支持脚座標系の初期値 (初期位置姿勢) がセットされているものとする。

25 次いで S 2 2 0 4 に進み、姿勢回転中心を決定する。具体的には、その瞬間の目標 Z M P (現在の目標 Z M P) が姿勢回転中心として決定さ

れる。ここで、本実施形態では、遊脚の振り出し等によって支持脚足平 2 2 が接地面でスピンを生じる場合があることを考慮し、制御周期の間の推定上体姿勢の変化量と目標上体姿勢の変化量との差である前記上体姿勢変化量差が支持脚足平 2 2 のスピンによって生じたものであるとみなす。そして、上記姿勢回転中心は、支持脚足平 2 2 のスピンの回転中心を意味する。

次いで S 2 2 0 6 に進み、現在の推定支持脚座標系（図 1 1 に示す時刻  $t - \Delta t$  における推定支持脚座標系）を、前記 S 2 2 0 2 で求めた上体姿勢変化量差だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させたものを改めて現在の推定支持脚座標系（図 1 1 に示す時刻  $t$  における推定支持脚座標系）と決定する。すなわち、今回の制御周期（現在時刻  $t$ ）における推定支持脚座標系の位置姿勢を決定する。なお、S 2 2 0 2 で求められる上体姿勢変化量差は、一般には、鉛直軸回りの成分だけでなく、水平軸回りの成分も含まれるため、上記の如く新たに決定される推定支持脚座標系の Z 軸の方向は鉛直方向になるとは限らない。そこで、本実施形態では、前記上体姿勢変化量差の分だけ現在の（時刻  $t - \Delta t$  の）推定支持脚座標系を前記姿勢回転中心回りに回転させた後、推定支持脚座標系の Z 軸を鉛直方向に向けるように該推定支持脚座標系をその原点回りに回転させ、それにより新たな（時刻  $t$  の）推定支持脚座標系を決定する。あるいは、前記上体姿勢変化量差のうちの、鉛直軸回りの成分だけ、現在の（時刻  $t - \Delta t$  の）推定支持脚座標系を前記姿勢回転中心回りに回転させることで、新たな推定支持脚座標系を決定するようにしてもよい。

次いで S 2 2 0 8 に進み、現在時刻  $t$  が遊脚足平 2 2 の着地時刻（1  
25 歩分の今回歩容の生成が完了する時刻）であるか否か、すなわち歩容の  
切り替わり目であるか否かが判定される。

## 4 1

S 2 2 0 8 の判定結果が Y E S である場合には、以下の処理が行われる。すなわち、まず S 2 2 1 0 に進み、現在の推定支持脚座標系（S 2 2 0 6 で決定したもの）に対する次回歩容の推定支持脚座標系（次回に着地する遊脚の足平 2 2 の着地位置姿勢に対応する推定支持脚座標系）  
5 の相対位置姿勢関係が、目標歩容（より詳しくは、時刻  $t - \Delta t$ （歩容の切り替わり目の 1 つ前の制御周期）までに生成した今回歩容）における支持脚座標系に対する次回歩容の支持脚座標系の相対位置姿勢関係と同一関係になるように、次回歩容推定支持脚座標系の位置及び向きを決定する。ここで、上記目標歩容における支持脚座標系に対する次回歩容  
10 の支持脚座標系は、1 歩目の着地位置姿勢の要求値に対応する支持脚座標系である。

次いで S 2 2 1 2 に進み、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入する。これにより、遊脚足平 2 2 の着地毎（S 2 2 0 8 の判定結果が Y E S になる毎）に、その遊脚足  
15 平 2 2 の実際の着地位置姿勢を代表するものとしての推定支持脚座標系の位置及び向きが求められる。そして、推定支持脚座標系は、今回歩容の遊脚足平 2 2 が着地するまでは、ロボット 1 のスピンを考慮して、制御周期毎に更新される。

以上により S 0 1 6 の自己位置推定処理が終了する。なお、本実施形態では、上述した如く、ロボット 1 の着地動作毎の足平 2 2 の実際の着  
20 地位置姿勢を代表する推定支持脚座標系の位置及び向きを求めるようにしたが、自己位置推定処理の手法は上記に限られるものではない。例えばロボット 1 の上体 3 等の所定の部位の位置姿勢（グローバル座標系での位置姿勢）を公知の慣性航法的な手法により逐次推定しておき、それ  
25 と、ロボット 1 の目標歩容あるいはロボット 1 の各関節の変位検出値とを用いて推定支持脚座標系の位置及び向きを求めるようにしてもよい。

いずれにせよ、自己位置推定処理は、ロボット1の各回の着地動作で着地する足平22の実際の着地位置姿勢（姿勢に関しては特に鉛直軸回りの向き）をできるだけ精度よく推定できる手法であればどのような手法を用いてもよい。

- 5 図9の説明に戻って、上記の如く自己位置推定処理を実行した後、S018に進み、歩容の切り替わり目（前回歩容の生成が終了し、新たな今回歩容の生成を開始すべき時刻）であるか否かが判断される。そして、その判断結果がYESであるときはS020に進み、NOであるときはS038に進む。

- 10 S020に進むときは時刻 $t$ を0に初期化する。

- 次いでS022に進み、前記軌道誘導部220による軌道誘導処理が実行され、次回歩容支持脚座標系および次次回歩容支持脚座標系が決定される。次回歩容支持脚座標系は、今回歩容での遊脚の足平22の着地位置姿勢（1歩目の着地位置姿勢）の要求値に対応する支持脚座標系であり、次次回歩容支持脚座標系は、次回歩容で遊脚となる脚体2の足平22の着地位置姿勢（2歩目の着地位置姿勢）の要求値に対応する支持脚座標系である。S022における軌道誘導処理が本願発明の特徴部分をなす部分であるが、この説明は後述することとする。なお、S022では、今回歩容周期および次回歩容周期も決定される。これらの歩容周期は、前記ジョイスティック73の操作や、あらかじめ定められた移動計画等により設定されるロボット1の要求移動速度（あるいは要求着地時刻）に基づいて決定される。
- 15  
20

- 次いでS024に進む。なお、このS024以降、S030までの処理は、本願出願人が先に提案したPCT公開公報 WO/02/40224 や
- 25 PCT/JP02/13596 号等に詳細に説明されているので、以下では簡略的な説明に留める。



## 43

S 0 2 4 では、今回歩容がつながるべき定常旋回歩容の歩容パラメータが、S 0 2 2 で決定された次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、今回歩容周期および次回歩容周期等に基づいて決定される。主に、目標足平位置姿勢軌道を規定する足平軌道パラメータ、目標上体姿勢の基準軌道を規定する基準上体姿勢軌道パラメータ、目標腕姿勢軌道を規定する腕姿勢軌道パラメータ、目標 Z M P 軌道を規定する Z M P 軌道パラメータ、目標床反力鉛直成分軌道を規定する床反力鉛直成分軌道パラメータが決定される。例えば床反力鉛直成分軌道パラメータに関して例示すると、前記図 8 (a) に示したパターンの折れ点の時刻や値が床反力鉛直成分軌道パラメータとして決定される。

ここで、前記定常旋回歩容は、その歩容を繰り返したときに歩容の境界においてロボット 1 の運動状態に不連続が生じないような周期的歩容を意味する（以降、「定常旋回歩容」を「定常歩容」と略す場合もある）。

定常旋回歩容の 1 周期分の歩容は、図 1 2 に示すように、今回歩容の支持脚座標系（図の X Y 座標）に対応する支持脚の足平 2 2（図示の例では、ロボット 1 の右側の足平 2 2 R）を次次回歩容支持脚座標系（図の X''Y''座標）に対応する位置姿勢まで動かすときの歩容に対応する第 1 旋回歩容と、次回歩容支持脚座標系（図の X'Y'座標）に対応する支持脚の足平 2 2（図示の例では、ロボット 1 の左側の足平 2 2 L）を次次回支持脚座標系（図の X'''Y'''座標）に対応する位置姿勢まで動かすときの歩容に対応する第 2 旋回歩容とからなる。この場合、次次回歩容支持脚座標系は、第 2 旋回歩容の遊脚足平 2 2 の目標着地位置姿勢に対応するものである。そして、該次次回歩容支持脚座標系は、次次回歩容支持脚座標系（第 2 旋回歩容の支持脚座標系）から見た該次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢（位置及び向き）が、今回歩容支持脚座標系から見た次回歩容支持脚座標系（今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位

置姿勢) の位置姿勢 (位置及び向き) に一致するように設定される。尚、ここで定常旋回歩容に関して「旋回」なる用語を用いたのは、旋回率を零とするときは直進を意味するので、直進も広義の意味で旋回に含ませることができるからである。

- 5 定常旋回歩容は、歩容生成装置 200 で今回歩容の終端における発散成分や上体鉛直位置速度を決定するために暫定的に作成される仮想的な周期的歩容であり、ロボット 1 を実際に制御するために歩容生成装置 200 からそのまま出力されるものではない。

- 尚、「発散」とは、上体 3 の位置が両足平 22, 22 の位置からかけ  
10 離れた位置にずれてしまうことを意味する。発散成分の値とは、2 足移動ロボットの上体の位置が両足平の位置 (厳密には、支持脚接地面に設定された支持脚座標系の原点) からかけ離れていく具合を表す数値であり、上体 3 の水平方向の位置及びその速度の関数で表される。

- 本実施形態では、これから生成する今回歩容の後につながる定常歩容  
15 を移動要求 (前記 2 歩先までの遊脚の足平 22 の着地位置姿勢、着地時刻などの要求値) に応じて設定し、定常歩容の初期発散成分を求めてから、今回歩容の終端発散成分を定常歩容の初期発散成分に一致させるように、今回歩容を生成するようにした。その詳細は、本出願人が提案した前記 PCT 公開公報 WO/02/40224、あるいは PCT/JP02/13596  
20 号等に説明されているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

S024 の処理を行って定常歩容の歩容パラメータを決定した後、S026 に進み、定常旋回歩容の初期状態 (初期上体水平位置速度、初期上体鉛直位置速度、初期発散成分、初期上体姿勢角および角速度) を決定する。

- 25 次いで、S028 に進み、今回歩容の歩容パラメータを決定 (一部仮決定) する。この場合、決定される今回歩容の歩容パラメータは、定常

旋回歩容の歩容パラメータと同様、主に、足平軌道パラメータ、基準上  
体姿勢軌道パラメータ、腕姿勢軌道パラメータ、目標ZMP軌道パラメ  
ータ、目標床反力鉛直成分軌道パラメータであり、それぞれのパラメ  
ータにより規定される軌道が、定常旋回歩容の軌道に連続するように決定  
5 される。ただし、これらのパラメータのうち、目標ZMP軌道パラメ  
ータは暫定的なものである。このS028の処理の詳細は、前記PCT公  
開公報 WO/02/40224、あるいは PCT/JP02/13596 号等に説明さ  
れているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

次いでS030に進み、今回歩容の終端発散成分が定常歩容の初期発  
10 散成分に一致するように、今回歩容の歩容パラメータが修正される。こ  
こで修正される歩容パラメータは、目標ZMP軌道パラメータである。

なお、S026からS030の処理では、ロボット1の運動と床反力  
との関係を表す動力学モデルが用いられる。その動力学モデルとしては、  
前記PCT公開公報 WO/02/40224に記載の単純化モデルあるいは、  
15 本出願人が提案した特開 2002-326173 号公報に記載の多質点モデル  
(フルモデル)などを用いれば良い。

次いでS032に進み、目標ZMPが所定の許容範囲に存在している  
か否かが判断される。

なお、目標ZMPの前記許容範囲は、目標ZMPの存在可能範囲（接  
20 地面を含む最小凸多角形で、いわゆる支持多角形）内に設定される。

修正された今回歩容の歩容パラメータがその他の歩容の制約条件を満  
足しているか否かを判断しても良い。なお、歩容の制約条件に関しては、  
前記PCT公開公報 WO/02/40224に詳細が述べられている。

S032の判断結果がNOである場合には、S034に進み、後述す  
25 る軌道誘導補正サブルーチンを軌道誘導部220により実行することによ  
り、S022の軌道誘導サブルーチンで決定した次回歩容支持脚座標

系及び次次回歩容支持脚座標系を修正する。S 0 3 4 における処理も S 0 2 2 と同様、この出願に係る発明の中核をなす部分であるが、この説明は後述することとする。

5 次いで S 0 3 6 を経て、S 0 2 4 に戻り、該 S 0 2 4 からの処理が再び実行される。

S 0 3 2 の判断結果が Y E S である場合、あるいは S 0 1 8 の判断結果が N O である場合には、S 0 3 8 に進み、S 0 3 0 で最終的に決定した今回歩容パラメータに基づいて前記動力学モデルを用いて今回歩容瞬時値を決定する。この処理の詳細は、前記 P C T 公開公報 WO/02/10 40224 あるいは、PCT/JP02/13596 号において説明されているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

次いで S 0 4 0 に進み、スピン力をキャンセルする腕振り動作が決定される。

15 次いで S 0 4 2 に進み、歩容生成用時刻  $t$  を  $\Delta t$  だけ増やした後、S 0 1 4 に戻り、以上のごとく歩容生成を続ける。

以上が、歩容生成装置 2 0 0 の歩容生成処理、自己位置姿勢推定部 2 2 4 の自己位置姿勢推定処理、並びに軌道誘導部 2 2 0 の軌道誘導処理の概要である。

20 図 6 を参照してこの実施形態に係る制御ユニット 6 0 の制御処理をさらに説明すると、歩容生成装置 2 0 0 において、上記したように目標歩容が生成される。生成された目標歩容のうち、目標上体位置姿勢（軌道）及び目標腕姿勢（軌道）は、ロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部）2 0 2 に直接送られる。

25 また、目標足平位置姿勢（軌道）、目標 Z M P 軌道（目標全床反力中心点軌道）、および目標全床反力（軌道）（目標床反力水平成分と目標床反力鉛直成分）は、複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に直接送ら

れる一方、目標床反力分配器 206 にも送られる。目標床反力分配器 206 では、目標全床反力は各足平 22R, 22L に分配され、目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が決定される。その決定された目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が複合コンプライアンス動作決定部 204 に送られる。

複合コンプライアンス動作決定部 204 では、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢軌道が生成され、それがロボット幾何学モデル 202 に送られる。ロボット幾何学モデル 202 は、目標上体位置姿勢（軌道）と機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）が入力されると、それらを満足する脚体 2, 2 の 12 個の関節（10R（L）など）の関節変位指令（値）を算出して変位コントローラ 208 に送る。変位コントローラ 208 は、ロボット幾何学モデル 202 で算出された関節変位指令（値）を目標値としてロボット 1 の 12 個の関節の変位を追従制御する。

ロボット 1 に生じた床反力（詳しくは実各足平床反力）は 6 軸力センサ 50 によって検出される。その検出値は前記複合コンプライアンス動作決定部 204 に送られる。また、前記図 10 の S2200 で求められた推定上体姿勢と歩容生成装置 200 が生成した目標上体姿勢との差のうちの傾き成分、すなわち姿勢傾斜偏差  $\theta_{errx}$ ,  $\theta_{erry}$  が姿勢安定化制御演算部 212 に送られる。なお、 $\theta_{errx}$  はロール方向（X 軸回り）の傾き成分であり、 $\theta_{erry}$  はピッチ方向（Y 軸回り）の傾き成分である。この姿勢安定化制御演算部 212 で、ロボット 1 の上体姿勢の傾きを目標歩容の上体姿勢の傾きに復元するための目標全床反力中心点（目標 ZMP）まわりの補償全床反力モーメント  $M_{dmd}$  が算出されて複合コンプライアンス動作決定部 204 に送られる。複合コンプライアンス動作決定部 204 は、入力値に基づいて目標床反力を修正する。具

体的には、目標全床反力中心点（目標ZMP）まわりに補償全床反力モーメント  $M_{dmd}$  が作用するように目標床反力を修正する。

複合コンプライアンス動作決定部204は、修正された目標床反力に、センサ検出値などから算出される実ロボットの状態および床反力を一致  
5      させようと上記機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を決定する。ただしすべての状態を目標に一致させることは事実上不可能であるので、これらの間にトレードオフ関係を与えて妥協的になるべく一致させる。すなわち、各目標に対する制御偏差に重みを与えて、制御偏差（あるいは制御偏差の2乗）の重み付き平均が最小になるように制御す  
10      る。これによりロボット1の実際の足平位置姿勢と全床反力とが歩容生成装置200で生成された目標足平位置姿勢と目標全床反力とに概ね追従するように制御される。

補足すると、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）は、複合コンプライアンス動作決定部204によって修正された床反力の目標  
15      値を発生させるために必要な足平の変形機構（前記図3の足平機構の弾性部材106、足底弾性体71及び袋状部材109）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求めて、その変形量が発生するように修正した目標足平位置姿勢（軌道）である。

以下に本発明の第1実施形態におけるS022の軌道誘導処理を詳説  
20      する。

図13に、該軌道誘導処理のフローチャートを示す。

まず、S3000において、図16に示すように、現在の推定支持脚座標系（前回の制御周期で決定した推定支持脚座標系）の代表点  $P(0)$  の位置と目標経路とを基に、今回短期目標点  $Q(0)$  を決定する。

25      目標経路は、前記推定支持脚座標系の時系列が表すロボット1の実際の足跡（遊脚の足平22の着地位置及び向きの列）を沿わせるべき経路

であり、以下の説明では目標経路を目標足跡経路ということがある。この目標足跡経路は、あらかじめ設定しておいても良いが、ロボット1の移動中に、地図情報とロボット1の推定自己位置姿勢（グローバル座標系における推定支持脚座標系の位置及び向き）を基に、障害物等を回避  
5 しつつ目標点に到達する目標足跡経路を随時生成するようにしてもよい。本実施形態では、前記制御ユニット60に備えた前記移動計画部222が目標足跡経路を出力するが、S3000において生成しても良い。

なお、支持脚座標系の代表点  $P(0)$  とは、該支持脚座標系上のある所定の点である。この代表点  $P(0)$  は、図14および図15に示すように、  
10 前記した支持脚足平22の位置姿勢と支持脚座標系の位置姿勢との対応関係を満足するように支持脚座標系に対応させて定まる水平姿勢の支持脚足平22R又は22Lに他方の足平22L又は22Rを並列させ（両足平22R, 22Lを揃える）、ロボット1を通常的な直立姿勢で起立させた状態（ロボット1の左右対称の状態）において、該代表点  $P(0)$ 、  
15 のY軸方向（左右方向）の位置が両足平22R, 22Lの間の位置になるように設定される。すなわち、支持脚足平22が左側の足平22Lである場合には、図15に示すように、該支持脚足平22Lに対応する支持脚座標系の代表点  $P(0)$  は、そのY軸方向の位置が支持脚足平22Lから右側に所定の距離だけ離れた位置なるように設定される。また、支  
20 持脚足平22が右側の足平22Rである場合には、図14に示すよう、支持脚足平22Rに対応する支持脚座標系の代表点  $P(0)$  は、そのY軸方向の位置が支持脚足平22Rから左側に所定の距離だけ離れた位置になるように設定される。

また、支持脚座標系の代表点のX軸方向の位置は、該支持脚座標系に  
25 対応する支持脚足平22の踵の近く、あるいはつま先の近くに設定することが好ましい。支持脚座標系の代表点を支持脚足平22の踵近くに設

定した場合には、左右の足平 2 2 R, 2 2 L に対応する支持脚座標系の代表点がある床に固定された点に一致させたまま、両足平 2 2 R, 2 2 L のつま先を開いたり閉じたりして、その場巡回させても、足平 2 2 R, 2 2 L 同士が干渉しない。また、支持脚座標系の代表点は、足平 2 2 のつま先近くに設定した場合には、左右の足平 2 2 R, 2 2 L に対応する支持脚座標系の代表点がある床に固定された点に一致させたまま、両足平のかかとを開いたり閉じたりしてその場巡回させても、足平 2 2 R, 2 2 L 同士が干渉しない。

これに対して、支持脚座標系の代表点の X 軸方向（支持脚足平 2 2 の前後方向）の位置を支持脚足平 2 2 のつま先と踵との真中付近に設定すると、一方の足平 2 2 R 又は 2 2 L に対して他方の足平 2 2 L 又は 2 2 R の向きを少し異なる向きにただけで、踵またはつま先が互いに干渉するようになる。

このようなことから、本実施形態では、図 1 4 および図 1 5 に示すように、両足平 2 2 R, 2 2 L を揃えた通常の直立姿勢（左右対称の姿勢）において、両足平 2 2 R, 2 2 L の左右中央で、かつ、踵寄りの点で、かつ左右の足平 2 2 R, 2 2 L にそれぞれ対応する支持脚座標系の代表点を一致させるように該支持脚座標系の代表点を設定する。図 1 4 は、右脚体 2 R が支持脚であった場合の支持脚座標系の代表点を示す。図 1 5 は、左脚体 2 L が支持脚であった場合の支持脚座標系の代表点を示す。

なお、支持脚座標系の代表点  $P(0)$  は、接地時の足平 2 2 との相対関係によって決定される点であるので、以降、足平代表点と呼ぶことがある。

前記今回短期目標点  $Q(0)$  は、より具体的には、線分  $P(0)Q(0)$  がある所定の長さ  $L_{q0}$  になるように、目標経路（目標足跡経路）上に設定す



る。言い換えると、 $P(0)$ を中心とする半径が前記所定の長さ  $Lq0$  の円の円周と目標経路との交点に  $Q(0)$ を設定する。ただし、代表点  $P(0)$ とロボット1の最終的な移動目的地の距離が前記所定の長さ  $Lq0$  以下の場合には、その目的地に  $Q(0)$ を設定する。

5     なお、前記所定の長さ  $Lq0$  は、ロボット1の要求される移動速度が速いほど、長くなるように該移動速度に応じて設定することが好ましい。長さ  $Lq0$  を短くすると、ロボット1の足平着地位置が目標経路に漸近する速度が速くなる代わりに、足平着地向きの変化率（またはロボット1の上体3のヨーレート）が大きくなる。

10     次いでS3002に進み、線分  $P(0)Q(0)$ 上に次回歩容支持脚座標系の代表候補点  $R(0)$ を決定する。具体的には、線分  $P(0)R(0)$ がある所定の長さ  $Lr0$  になるように、線分  $P(0)Q(0)$ 上に  $R(0)$ を設定する。ただし、 $P(0)$ とロボット1の最終的な移動目的地の距離が前記所定の長さ  $Lr0$  以下の場合には、該目的地に  $R(0)$ を設定する。所定の長さ  $Lr0$  は、例  
15     えばロボット1の要求される移動速度で直進した場合の通常的な歩幅相当の長さでよい。

次いでS3004に進み、図16に示すように、着地許容領域の点で、かつ代表候補点  $R(0)$ に最も近い点を  $P(1)$ と決定する。

20     上記着地許容領域は、現在のロボット1の状態（今回歩容の開始時の状態）から遊脚を振って遊脚足平22を着地させた場合に、脚体2同士の干渉が生じる、脚体2の動作許容範囲を越える、脚体2の関節アクチュエータ（電動モータ64）に無理な速度や力が発生する、などの支障が発生しないような遊脚足平22の着地時の遊脚足平代表点の位置とその遊脚足平の向きとの許容領域（次回歩容支持脚座標系の代表点の位置  
25     及び向きの許容領域）である。つまり、着地許容領域は、ロボット1自身の機構的な（あるいは運動的な）制約に基づく許容領域である（以下、

## 52

着地許容領域を自己依存着地許容領域ということがある)。

したがって、上記自己依存着地許容領域は、遊脚足平が着地した状態で遊脚と支持脚とが干渉しない範囲に含まれる。

- 例えばロボット1の歩行において、遊脚足平22の着地時での遊脚と支持脚との干渉を考慮した場合、遊脚足平22の着地向きが支持脚足平22に対して0度の場合、すなわち、遊脚足平22を支持脚足平22の向き(支持脚座標系のX軸方向の向き)と同じ向きで着地させる場合には、支持脚足平22に対して、図18に示す太曲線の中が、該遊脚足平22に対する着地許容領域(より詳しくは該遊脚足平代表点の許容領域)となる。遊脚足平22の着地向きが支持脚足平22に対して-30度の場合、すなわち、遊脚足平22を支持脚足平22の向き(支持脚座標系のX軸方向の向き)に対して時計回り方向に30°回転させた向きで着地させる場合には、図19に示す太曲線の中が着地許容領域(より詳しくは該遊脚足平代表点の許容領域)となる。
- 15 厳密には、着地許容領域は、遊脚足平22の代表点のX座標、Y座標と足平着地向き $\theta_z$ の組の集合、すなわち3次元の集合であり、図18は該集合のうち、足平着地向き $\theta_z$ が0度の部分集合であり、図19は足平着地向き $\theta_z$ が-30度の部分集合である。図18および図19は、3次元の領域である着地許容領域を足平着地向き $\theta_z$ がある一定の値で  
20 ある平面で切った時の断面の領域である。この断面の領域をX座標、Y座標の組の集合で表わしたものを自己依存着地位置許容領域と呼ぶ。

- 図18および図19では、遊脚着地状態で遊脚と支持脚が干渉しない範囲に自己依存着地許容領域を一致させた例を示したが、遊脚足平22の現在位置姿勢(今回歩容の開始時の遊脚足平22の位置姿勢)によつては、遊脚の現在位置姿勢から着地位置姿勢まで移動する間に、遊脚が支持脚に干渉する場合もある。そして、この遊脚の運動中の干渉を考慮
- 25

## 53

すると、自己依存着地許容領域は、遊脚の現在位置姿勢に依存して、遊脚着地状態で遊脚と支持脚とが干渉しない範囲（図17及び図18に例示した着地許容領域）よりも狭くなる場合もある。

5      なお、自己依存着地許容領域は、ロボット1の移動中にリアルタイムに求めても良いが、本実施形態では、制御ユニット60のコンピュータの演算負荷を低減するために、あらかじめ定めたマップにより自己依存着地許容領域が設定される。この場合、自己依存着地許容領域は、支持脚座標系に対する相対的な許容領域としてマップ化されており、現在の推定支持脚座標系の位置姿勢（位置及び向き）と、現在の推定支持脚座  
10      標系に対する現在の遊脚足平22の位置姿勢と、前記線分  $P(0)Q(0)$  の向きにより定まる遊脚足平22の着地向きとから上記マップにより自己依存着地位置許容領域が設定される。なお、自己依存着地許容領域の、支持脚座標系に対する相対的な領域（領域の境界）を演算式によりあらかじめ定めておき、その演算式を用いて自己依存着地位置許容領域を設  
15      定するようにしてもよい。

また、遊脚着地までの時間の余裕が少ない時にも、遊脚足平22の自己依存着地許容範囲は狭く限定される場合がある。この場合、自己依存着地許容領域は、遊脚足平22の着地位置姿勢を変更する前の着地位置姿勢（前回軌道誘導処理において、決定あるいは修正した次回歩容支持  
20      脚座標系）に依存する。

S3004においては、具体的には、代表候補点  $R(0)$  が前記着地位置許容領域内に存在する場合（換言すると、代表候補点  $R(0)$  と前記遊脚着地向きとの組が前記着地許容領域内に存在する場合）には、該代表候補点  $R(0)$  がそのまま今回歩容の遊脚足平22の着地時の代表点  $P(1)$   
25      として決定される。また、図16に示すように、代表候補点  $R(0)$  が着地位置許容領域から逸脱している場合には、着地位置許容領域の境界

(太線) 上の点で、かつ代表候補点  $R(0)$  に最も近い点が  $P(1)$  として決定される。

なお、足平代表点の  $X$  座標、 $Y$  座標と足平向き  $\theta_z$  を要素とする 3 次元空間において、任意の 2 点  $M = (X_M, Y_M, \theta_{zM})$ 、 $N = (X_N, Y_N, \theta_{zN})$  の間の距離ノルム  $a_{MN}$  を、例えば、

$$a_{MN} = \sqrt{W_X (X_M - X_N)^2 + W_Y (Y_M - Y_N)^2 + W_Z (\theta_{zM} - \theta_{zN})^2}$$

(但し、 $W_X$ ,  $W_Y$ ,  $W_Z$  は重み係数)

と定義し、 $X$  座標、 $Y$  座標が  $R(0)$  の座標で、足平向きが  $\theta_z$  である 3 次元空間上の点から、前記距離ノルムが最小となる自己依存着地許容領域内の点の位置と向きを次回歩容支持脚座標系の位置と向きとして決定しても良い。

次いで S 3 0 0 6 に進み、今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置を表す代表点  $P(1)$  の位置と線分  $P(0)Q(0)$  の向きとを基に、次回歩容支持脚座標系の位置及び向きが決定される。より具体的には、次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が  $P(1)$  で、且つ次回歩容支持脚座標系の  $X$  軸向きが線分  $P(0)Q(0)$  の向きとなるように、次回歩容支持脚座標系の位置と向きとが決定される。

なお、上記の説明では、次回歩容支持脚座標系の向きを線分  $P(0)Q(0)$  の向きに決定したが、この向きは、今回歩容支持脚座標系に対する次回歩容支持脚座標系の向きの旋回許容範囲（ロボット 1 の機構的な制約によって規定される範囲で、前記着地許容領域が存在し得る次回歩容支持脚座標系の向きの範囲）を逸脱する場合もある。そして、このような場合には、次回歩容支持脚座標系の向きは、強制的に上記旋回許容範囲の上限もしくは下限の向きに決定され、その決定した向きに応じ

て前記 S 3 0 0 2 ~ S 3 0 0 6 の処理と同様に、次回歩容支持脚座標系の位置が決定される。このことは、以下に説明する次次回支持脚座標系

の位置および向きの決定処理（具体的にはS 3 0 1 0～S 3 0 1 4の処理）においても同様である。

次いでS 3 0 0 8に進み、次回歩容支持脚座標系の代表点 P(1)と目標経路を基に、図 1 7 のように次回短期目標点 Q(1)を決定する。より具体的には、次回短期目標点 Q(1)は、線分 P(1)Q(1)が、ある所定の長さ Lq1 になるように、目標足跡経路上に設定される。ただし、P(1)とロボット 1 の最終的な移動目的地との距離が前記所定の長さ Lq1 以下の場合には、該目的地に Q(1)を設定する。Lq1 は前記 Lq0 と同一長さで良いが、異なる値に設定しても良い。

- 10 次いでS 3 0 1 0に進み、線分 P(1)Q(1)上に次次回歩容支持脚座標系の代表候補点 R(1)を決定する。具体的には、線分 P(1)R(1)がある所定の長さ Lr1 になるように、線分 P(1)Q(1)上に R(1)を設定する。ただし、P(1)とロボット 1 の最終的な移動目的地との距離が前記所定の長さ Lr1 以下の場合には、該目的地に R(1)を設定する。Lr1 は前記 Lr0 と
- 15 同一長さで良いが、異なる値に設定してもよい。

- 次いでS 3 0 1 2に進み、図 1 7 に示すように、次回歩容支持脚座標系に対して設定した着地位置許容領域（遊脚着地向きを線分 P(1)Q(1)の向きとした場合の着地位置許容領域）内の点で、かつ代表候補点 R(1)に最も近い点を P(2)と決定する。具体的には、代表候補点 R(1)が
- 20 次回歩容支持脚座標系に対応する着地位置許容領域内にない場合には、該着地位置許容領域の境界（太線）上の点で、かつ代表候補点 R(1)に最も近い点が P(2)として決定される。また、図 1 7 に示すように、代表候補点 R(1)が着地位置許容領域内にある場合には、代表候補点 R(1)がそのまま代表点 P(2)として決定される。

- 25 次いでS 3 0 1 4に進み、S 3 0 0 4と同様、次次回歩容支持脚座標系の代表点 P(2)の位置と線分 P(1)Q(1)の向きとを基に、次次回歩容支

持脚座標系の位置と向きとが決定される。より具体的には、次次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(2)で、且つ次次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが線分 P(1)Q(1)の向きとなるように、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きとが決定される。

5      以上が第 1 実施形態における S 0 2 2 の軌道誘導処理である。

次に、前述のごとく、図 9 の S 0 2 4 から S 0 3 2 まで実行し、S 0 3 2 において目標 Z M P が許容範囲に存在していないと判断されると、S 0 3 4 に進み、軌道誘導補正サブルーチンが実行される。

10      以下に S 0 3 4 の軌道誘導補正サブルーチンの処理を図 20 のフローチャートを参照して説明する。

まず、S 3 1 0 0 において、目標 Z M P が許容範囲を越えた分を求める。以降、これを e とする。e は、今回歩容の支持脚座標系の X 軸成分と Y 軸成分とからなるベクトルである。なお、許容範囲を越えていない成分は 0 にする。

15      次いで S 3 1 0 2 に進み、次式 1 を用いて、前記軌道誘導サブルーチンで求めた R(0) (右辺の R(0)) を基に、新たな R(0) (左辺の R(0)) を求める。ただし、Ka は所定の係数である。

$$R(0) = Ka * e + R(0) \quad \cdots \text{式 1}$$

20

このようにする理由を述べると、軌道誘導補正サブルーチンにおいて今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置を修正すると、その後 S 0 3 0 において今回歩容の終端発散成分が定常旋回歩行の初期発散成分に一致するように、目標 Z M P 軌道パラメータを修正した時に、今回歩容の遊脚足  
25      平 2 2 の着地位置の修正量と目標 Z M P 軌道パラメータの修正量が比例するからである。故に、式 1 により、R(0)を変更することにより、目標

ZMPが許容範囲を越えないようになるか、あるいは少なくとも目標ZMPが許容範囲を越える分が減少する。

次いでS3104からS3114までを、図13のS3004からS3014までと同様に実行する。なお、R(1)も、R(0)と同様、ZMP超過分に  
5 応じて変更しても良いが必ずしも変更する必要はない。これは、R(1)が、ロボット1の実際の制御には用いない仮想的な周期的歩容である定常旋回歩容を決定するために使用される次次回歩容支持脚座標系の代表点であるからである。

上記のごとく、軌道誘導補正サブルーチンにおいては、目標ZMPが  
10 許容範囲を越えていたら、目標ZMPが許容範囲を越えないように、あるいは少なくとも目標ZMPが許容範囲を越えた分が減少するように、今回歩容の遊脚足平22の着地位置（目標着地位置）、すなわち次回歩容支持脚座標系の位置が修正される。

軌道誘導補正サブルーチンが完了した後、図9のS036を経て、S  
15 024に戻り、上記の処理を再び実行する。以降、S032において目標ZMPが許容範囲に存在すると判断されると、S038に進む。したがって、S038に進んだ時には、前記着地許容領域（自己依存着地許容領域）の制約と目標ZMP許容範囲とのいずれも満足した、次回歩容支持脚座標系（次回着地位置姿勢）、次次回歩容支持脚座標系（次次回  
20 着地位置姿勢）が決定されている。

なお、軌道誘導補正サブルーチンでは、次回歩容支持脚座標系及び次次回歩容支持脚座標系の位置以外のその他の歩容パラメータ（例えば歩容周期等）を修正することで、目標ZMPが許容範囲に収まるように今回歩容パラメータを決定するようにすることも可能である。

25 なお、以上説明した第1実施形態は、本発明の第1～第9発明の一実施形態であり、前記歩容生成処理、自己位置姿勢推定処理がそれぞれ、

目標歩容決定手段、足平着地位置・向き推定手段に対応している。また、前記軌道誘導処理及び軌道誘導補正処理が足平目標着地向き決定手段に対応している。

次に本発明の第2実施形態を図21～図24を参照して説明する。第2実施形態においては、前記図9のS022の軌道誘導処理およびS034の軌道誘導補正処理以外は、第1実施形態と同じである。従って、以下では、第2実施形態における図9のS022の軌道誘導処理とS034の軌道誘導補正処理のみを説明する。

図21は、第2実施形態における図9のS022の軌道誘導処理を示すフローチャートである。

第2実施形態におけるS022の軌道誘導処理を図21を参照して詳説すると、まず、S3200において、現在の推定支持脚座標系（現在時刻tの制御周期における図9のS016で求めた推定支持脚座標系）の代表点P(0)と目標経路（目標足跡経路）とを基に、図22に示すように、代表点P(0)から目標足跡経路に漸近する曲線Cを決定する。具体的には、軌道誘導制御される無人搬送車や自動運転車が目標経路に漸近する場合の軌跡になるように曲線Cを決定する。

より具体的には、前記曲線C上の任意の点Aから目標経路に降ろした垂線と目標経路との交点を点Bとした時、前記曲線Cの点Aにおける曲率を次式2により決定する。

曲線の点Aにおける曲率

$= K_a * (\text{線分ABの長さ})$

$+ K_b * (\text{点Aにおける曲線の接線向き} - \text{点Bにおける目標経路の接線向き})$

…式2



ただし、 $K_a$ 、 $K_b$  は所定のゲインである。

次いで S 3 2 0 2 に進み、前記曲線 C 上に次回歩容支持脚座標系の代表候補点  $R(0)$  を決定する。具体的には、線分  $P(0)R(0)$  がある所定の長さ  $L_{r0}$  になるように、前記曲線上に  $R(0)$  を設定する。ただし、 $P(0)$  と  
5 ロボット 1 の最終的な移動目的地の距離が前記所定の長さ  $L_{r0}$  以下の場合には、該目的地に  $R(0)$  を設定する。

次いで S 3 2 0 4 に進み、前記第 1 実施形態で説明した図 1 3 の S 3 0 0 4 の処理と同様、現在の推定支持脚座標系に対する自己依存着地位置位置許容領域（着地向きが代表候補点  $R(0)$  での前記曲線 C の接線向きである自己依存着地位置許容領域）内の点で、かつ代表候補点  $R(0)$   
10 に最も近い点を  $P(1)$  と決定する。

次いで S 3 2 0 6 に進み、図 2 2 に示すように、次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が  $P(1)$  で次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが代表点  $P(1)$  における前記曲線 C の接線向き（より正確には、代表点  $P(1)$  から  
15 曲線 C に降ろした垂線と該曲線 C の交点における曲線 C の接線向き）となるように、次回歩容支持脚座標系の位置と向きとを決定する。

補足すると、 $P(1)$  における前記曲線 C の接線向きと  $R(0)$  における前記曲線 C の接線向きは、ほぼ等しいと考えられるので、上記の如く決定される次回歩容支持脚座標系に位置と向きの組は、ほぼ自己依存着地許  
20 容領域を満足する。

次いで S 3 2 0 8 に進み、前記曲線 C 上に次次回歩容支持脚座標系の代表候補点  $R(1)$  を決定する。具体的には、線分  $P(1)R(1)$  が、ある所定の長さ  $L_{q1}$  になるように、前記曲線 C 上に  $R(1)$  を設定する。ただし、 $P(1)$  とロボット 1 の最終的な移動目的地との距離が前記所定の長さ  $L_{q1}$   
25 以下の場合には、該目的地に  $R(1)$  を設定する。 $L_{q1}$  は  $L_{q0}$  と同一で良いが、異なる値に設定しても良い。

次いでS 3 2 1 0に進み、前記第1実施形態で説明した図13のS 3 0 1 2と同様、次回歩容支持脚座標系に対する自己依存着地許容領域（着地向きが代表候補点 R(1)での前記曲線Cの接線向きである自己依存着地位置許容領域）の点で、かつ代表候補点 R(1)に最も近い点を  
5 P(2)と決定する（図23参照）。

次いでS 3 2 1 2に進み、図23に示すように、次次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(2)で次次回歩容支持脚座標系のX軸向きが代表点 P(2)における前記曲線の接線向き（より正確には、代表点 P(2)から曲線Cに降ろした垂線と該曲線Cの交点における曲線Cの接線向き）  
10 となるように、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きとを決定する。

以上が第2実施形態におけるS 0 2 2の軌道誘導処理である。

次いで、第2実施形態における図9のS 0 3 4の軌道誘導補正サブルーチンの処理をその処理のフローチャートである図24を用いて説明する。

15 まず、S 3 3 0 0において、前記第1実施形態で説明した図20のS 3 1 0 0と同様、目標ZMPが許容範囲を越えた分eを求める。

次いでS 3 3 0 2に進み、第1実施形態の図20のS 3 1 0 2と同様、前記式1によって、R(0)を求める。

20 次いでS 3 3 0 4からS 3 3 1 2まで、図21のS 3 2 0 4からS 3 2 1 2までの処理と同様の処理を実行する。

なお、以上説明した第2実施形態は、前記第1実施形態と同様、本発明の第1～第9発明の実施形態である。

次に、本発明の第3実施形態を図25～図27を参照して説明する。第3実施形態においては、前記図9のS 0 2 2の軌道誘導処理およびS  
25 0 3 4の軌道誘導補正処理以外は、第1実施形態と同じである。従って、以下では、第3実施形態における図9のS 0 2 2の軌道誘導処理とS 0

34の軌道誘導補正処理のみを説明する。

図25は、第3実施形態における図9のS022の軌道誘導処理を示すフローチャートである。

第3実施形態における図9のS022の軌道誘導処理を詳説すると、  
5 まず、S3400において、図26に示すように、前記第1実施形態で説明した図13のS3000と同様に、現在の推定支持脚座標系の代表点  $P(0)$  と目標経路（目標足跡経路）とを基に、今回短期目標点  $Q(0)$  を決定する。

次いでS3402に進み、現在の推定支持脚座標系に対する自己依存  
10 着地位置許容領域（着地向きが線分  $P(0)Q(0)$  の向きである自己依存着地位置許容領域）を越えないように、線分  $P(0)Q(0)$  上に次回歩容支持脚座標系の代表点  $P(1)$  を決定する。具体的には、図26に示すように、自己依存着地位置許容領域の境界線と線分  $P(0)Q(0)$  の交点に  $P(1)$  を設定する。自己依存着地位置許容領域は第1実施形態と同様に設定される。

15 次いでS3404に進み、図26に示すように、前記第1実施形態の図13のS3006と同様に、次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が  $P(1)$  で、且つ次回歩容支持脚座標系のX軸向きが線分  $P(0)Q(0)$  の向きとなるように、次回歩容支持脚座標系の位置と向きとを決定する。

次いでS3406に進み、図26に示すように、前記第1実施形態の  
20 図13のS3008と同様に、次回歩容支持脚座標系の代表点  $P(1)$  と目標経路（目標足跡経路）とを基に、次回短期目標点  $Q(1)$  を設定する。

次いでS3408に進み、次回歩容支持脚座標系に対する自己依存着  
25 地位置許容領域（着地向きが線分  $P(1)Q(1)$  の向きである自己依存着地位置許容領域）を越えないように、線分  $P(1)Q(1)$  上に次次回歩容支持脚座標系の代表点  $P(2)$  を決定する。具体的には、次回歩容支持脚座標系に対する自己依存着地位置許容領域の境界線と線分  $P(1)Q(1)$  の交点

に P(2)を設定する（図 2 6 参照）。なお、図 2 6 では次回歩容支持脚座標系に対する自己依存着地位置許容領域は図示を省略している。

次いで S 3 4 1 0 に進み、図 2 6 に示すように、前記第 1 実施形態の図 1 3 の S 3 0 1 4 と同様、次次回歩容支持脚座標系の代表点の位置が P(2)で、且つ次次回歩容支持脚座標系の X 軸向きが線分 P(1)Q(1)の向きとなるように、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きとを決定する。

以上が第 3 実施形態における図 9 の S 0 2 2 の軌道誘導処理である。

次いで、第 3 実施形態における図 9 の S 0 3 4 の軌道誘導補正サブルーチンの処理を、この処理のフローチャートである図 2 7 を用いて説明する。

まず、S 3 5 0 0 において、前記第 1 実施形態の図 2 0 の S 3 1 0 0 と同様、目標 Z M P が許容範囲を越えた分 e を求める。

次いで S 3 5 0 2 に進み、前記軌道誘導サブルーチンで求めた P(1)を基に、次式 3 を用いて、新たな P(1)を求める。

$$P(1) = Ka * e + P(1) \quad \cdots \text{式 3}$$

次いで S 3 5 0 4 から S 3 5 1 0 までを、図 2 5 の S 3 4 0 4 から S 3 4 1 0 までと同様に実行する。

上記のごとく、第 3 実施形態の軌道誘導補正サブルーチンにおいては、目標 Z M P が許容範囲を越えていたら、越えないように、今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置（次回歩容支持脚座標系の位置）を修正する。

なお、以上説明した第 3 実施形態は、前記第 1 実施形態と同様、本発明の第 1 ～ 第 9 発明の実施形態である。

次に本発明の第 4 実施形態を図 2 8 ～ 図 3 0 を参照して説明する。第 4 実施形態においては、前記図 9 の S 0 2 2 の軌道誘導処理および S 0

34の軌道誘導補正処理以外は、第1実施形態と同じである。従って、以下では、第4実施形態における図9のS022の軌道誘導処理とS034の軌道誘導補正処理のみを説明する。

図28は、第4実施形態における図9のS022の軌道誘導処理を示すフローチャートである。

以下に第4実施例におけるS022の軌道誘導処理を図28を参照して詳説すると、まず、S3600において、前回制御周期（歩容の切り替わり目の制御周期の1つ前の制御周期）に決定されている第1旋回歩容を今回歩容に、前回制御周期に決定されている第2旋回歩容を次回歩容とする。換言すれば、前回歩容の生成開始時に決定した定常旋回歩容（前記図12を参照）の第1旋回歩容および第2旋回歩容をそれぞれ今回歩容、次回歩容とする。

次いで、S3602に進み、現在の推定支持脚座標系（歩容の切り替わり目の制御周期での図9のS016で最終的に決定された推定支持脚座標系）と、上記S3600で定めた今回歩容および次回歩容とを基に、予想次回着地位置姿勢と予想次次回着地位置姿勢を算出する。予想次回着地位置姿勢は、今回歩容の遊脚足平22の着地位置姿勢の仮値であり、予想次次回着地位置姿勢は、次回歩容の遊脚足平22の着地位置姿勢の仮値である。

より具体的には、今回歩容の支持脚座標系が、現在の推定支持脚座標系に一致していると想定して、前記図12に示した各座標系（詳しくは、図12の次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、および次次次回歩容支持脚座標系）の関係を満足するように、予想次回着地位置姿勢（今回歩容の遊脚足平22の予想着地位置・向き）と予想次次回着地位置姿勢（次回歩容の遊脚足平22の予想着地位置・向き）を求める。図29と前記図12とを参照してさらに詳説すると、前回歩容に対応し

て決定した定常旋回歩容の第1旋回歩容の支持脚座標系（図12中の次回歩容支持脚座標系）が現在の推定支持脚座標系に合致していると想定する。そして、現在の推定支持脚座標系から見た、予想次回着地位置姿勢に対応する予想次回支持脚座標系（図29参照）の位置および向きが、  
5 前回歩容に対応する定常旋回歩容における第1旋回歩容の支持脚座標系から見た第2旋回歩容の支持脚座標系の位置および向き（図12中の次回歩容支持脚座標系から見た次次回歩容支持脚座標系の位置および向き）に一致するように予想次回着地位置姿勢を決定する。従って、図29に示す現在の推定支持脚座標系に対する予想次回支持脚座標系の相対的  
10 的位置姿勢は、図12の次回歩容支持脚座標系（第1旋回歩容の支持脚座標系）に対する次次回歩容支持脚座標系（第2旋回歩容の支持脚座標系）の相対的位置姿勢と同一にされる。

さらに、現在の推定支持脚座標系から見た、予想次次回着地位置姿勢に対応する予想次次回支持脚座標系（図29参照）の位置および向きが、  
15 前回歩容に対応する定常旋回歩容における第1旋回歩容の支持脚座標系から見た次の第1旋回歩容の支持脚座標系の位置および向き（図12中の次回歩容支持脚座標系から見た次次次回歩容支持脚座標系の位置および向き）に一致するように予想次次回着地位置姿勢を決定する。従って、図29に示す現在の推定支持脚座標系に対する予想次次回支持脚座標系の相対的  
20 的位置姿勢は、図12の次回歩容支持脚座標系（第1番目の第1旋回歩容の支持脚座標系）に対する次次回歩容支持脚座標系（第2番目の第1旋回歩容の支持脚座標系）の相対的位置姿勢と同一にされる。

次いでS3604に進み、図29に示す、予想次回着地位置姿勢の目標経路からの位置ずれと方向ずれである、予想次回着地位置ずれと予想  
25 次回着地方向ずれを算出する。予想次回着地位置ずれは、予想次回着地位置姿勢に対応する足平代表点から目標経路まで降ろした垂線の長さ

（足平代表点の該目標経路との距離）であり、予想次回着地方向ずれは、上記垂線と目標経路との交点における目標経路の接線向きと、予想次回着地位置姿勢に対応する足平22（図では22R）の向き（前後方向の向き）とのなす角度で表される。

- 5 次いでS3606に進み、図29に示す、予想次次回着地位置姿勢の経路からの位置ずれと方向ずれである、予想次次回着地位置ずれと予想次次回着地方向ずれを算出する。この算出は、上記に説明したS3604と同様に行われる。

- 10 次いでS3608に進み、上記ずれに基づき、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

- 例えば、式4、式5、式6および式7により次回歩容支持脚座標系の位置および向きの修正量と次次回歩容支持脚座標系の位置および向きの修正量とを決定し、その修正量を、それぞれS3602で求めた予想次回着地位置姿勢に対応する予想次回支持脚座標系の位置および向き、  
15 予想次次回着地位置姿勢に対応する予想次次回支持脚座標系の位置および向きに加えることにより、次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系を決定する。

次回歩容支持脚座標系の位置の修正量

- 20  $= K11 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K12 * \text{予想次回着地方向ずれ}$   
 $+ K13 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K14 * \text{予想次次回着地方向ずれ}$   
 ...式4

次回歩容支持脚座標系の向きの修正量

- $= K21 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K22 * \text{予想次回着地方向ずれ}$   
 25  $+ K23 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K24 * \text{予想次次回着地方向ずれ}$   
 ...式5

次次回歩容支持脚座標系の位置の修正量

$$= K31 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K32 * \text{予想次回着地方向ずれ} \\ + K33 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K34 * \text{予想次次回着地方向ずれ}$$

…式 6

5

次次回歩容支持脚座標系の向きの修正量

$$= K41 * \text{予想次回着地位置ずれ} + K42 * \text{予想次回着地方向ずれ} \\ + K43 * \text{予想次次回着地位置ずれ} + K44 * \text{予想次次回着地方向ずれ}$$

…式 7

10

S 3 6 0 8 においては、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きの少なくともいずれかを修正するだけでも良い。

以上が第 4 実施形態における図 9 の S 0 2 2 の軌道誘導処理である。

15 次いで、第 4 実施形態における図 9 の S 0 3 4 の軌道誘導補正サブルーチンの処理を、この処理のフローチャートである図 3 0 を用いて説明する。

まず、S 3 7 0 0 において、前記第 1 実施形態の図 2 0 の S 3 1 0 0 と同様、目標 ZMP が許容範囲を越えた分  $e$  を求める。

20 次いで S 3 7 0 2 に進み、ある所定の係数  $Ka$  に  $e$  を乗じた量だけ、次回歩容支持脚座標系の位置および次次回歩容支持脚座標系の位置を修正する。

25 なお、以上説明した第 4 実施形態は、本発明の第 1 0 発明～第 1 4 発明の一実施形態であり、前記歩容生成処理、自己位置姿勢推定処理がそれぞれ目標歩容決定手段、足平着地位置・向き推定手段に対応している。また、前記軌道誘導処理及び軌道誘導補正処理がそれらを併せて、足平



目標着地位置・向き仮決定手段及び足平目標着地位置・向き修正手段に対応している。

次に本発明の第5実施形態を図31～図35を参照して説明する。第5実施形態においては、前記図9のS022の軌道誘導処理およびS034の軌道誘導補正処理以外は、第1実施形態と同じである。従って、以下では、第5実施形態における図9のS022の軌道誘導処理とS034の軌道誘導補正処理のみを説明する。

第5実施形態は、飛び石の上を歩くなど、遊脚足平22の着地位置の許容範囲が限定されている場合に対応する実施形態である。

10 第4実施形態までは、ロボット1の遊脚足平22の着地位置の位置ずれとしては、基本的には、目標経路の法線方向のみを考慮すれば良かったが、飛び石の上を歩行する場合などのように、遊脚足平22の着地位置が指定される場合には、その着地位置の位置ずれとしては、前後左右両方向のずれを考慮する必要がある。

15 図31は、第5実施形態におけるS022の軌道誘導処理である。

以下に第5実施形態におけるS022の軌道誘導処理を図31を参照して詳説すると、まず、S3800において、環境依存次回着地位置向き許容範囲と環境依存次次回着地位置向き許容範囲とを決定する。なお、この処理は、本実施形態では、図6の移動計画部222により行われ、  
20 その決定された環境依存次回着地位置向き許容範囲と環境依存次次回着地位置向き許容範囲とが前記軌道誘導部220に与えられて、該軌道誘導部220により後述するS3802の処理が実行される。

前記S3800で決定する環境依存次回着地位置向き許容範囲は、図32に示すように、環境依存次回着地時足平代表点位置許容範囲（図32の太線枠内）と環境依存次回着地方向許容範囲から成る。なお、環境  
25 依存次回着地時足平代表点位置許容範囲と環境依存次回着地方向許容範囲

囲とを独立に設定できない状況の場合には、環境依存次回着地位置向き許容範囲は、環境依存次回着地時足平代表点位置と環境依存次回着地方向の組み合わせの許容範囲とすればよい。環境依存次回着地位置向き許容範囲は、あらかじめマップ化して記憶しておいても良いが、飛び石などの環境情報からその都度決定しても良い。環境依存次次回着地位置向き許容範囲も、環境依存次回着地位置向き許容範囲と同様に設定される。

次いで、S 3 8 0 2に進み、環境依存次回着地位置向き許容範囲、環境依存次次回着地位置向き許容範囲、並びにロボット 1 自身の機構的制約条件である前記自己依存着地許容領域（前記第 1 実施形態で図 1 8、図 1 9 等を参照して説明した着地許容領域）をいずれも満足するように、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、並びに次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを決定する。

この S 3 8 0 2 の処理を図 3 3 のフローチャートを参照してさらに説明する。まず、S 3 8 5 0 において、次回着地位置向き（次回歩容支持脚座標系の代表点の位置と該座標系の向き）を環境依存次回着地位置向き許容範囲内で且つ現在の推定支持脚座標系に対応する自己依存着地許容領域（次回着地位置向きの自己依存着地許容領域）内で仮決定する。具体的には、それらの環境依存次回着地位置向き許容範囲と自己依存着地許容領域との共通領域（位置と向きの組の共通領域）内で、該共通領域の中央に次回着地位置向きを仮決定する。

次いで、S 3 8 5 2 に進み、上記の如く仮決定した次回着地位置向き（次次回支持脚座標系の代表点の位置および足平着地向き）を基に、次回着地位置向きの自己依存着地許容領域を求める。

次いで S 3 8 5 4 に進み、次次回着地位置向きの自己依存着地許容領域と環境依存次次回着地位置向き許容範囲との共通領域があるか否かを判断する。

この判断結果がYESの場合には、S3856に進み、次次回着地位置向きの自己依存着地許容領域と環境依存次次回着地位置向き許容範囲との共通領域内に次次回着地位置向き（次次回支持脚座標系の代表点の位置および該座標系の向き）を決定する。この場合、次次回着地位置向きは、共通領域内のほぼ中央の位置および向きに決定される。これにより、次回歩容支持脚座標系、および次次回歩容支持脚座標系の位置および向きが決定され、図31のS3802の処理が終了する。

一方、S3854の判断結果がNOである場合には、S3858に進み、次次回着地位置向きの自己依存着地許容領域が環境依存次次回着地位置向き許容範囲に近づくように（それらが共通領域を持つように）、現在決定されている次回着地位置向きのうちの位置および向きの少なくともいずれか（次回歩容支持脚座標系の代表点の位置および該座標系の向きの少なくともいずれか）を修正する。例えば、図34の左図に示すように次次回着地位置向きの自己依存着地許容領域と環境依存次次回着地位置向き許容範囲とが共通領域が存在しなかった場合には、同図の右図に示すように、次回着地位置向きを修正する。なお、この次回着地位置向きの修正は、次回着地位置向きの自己依存着地許容領域と環境依存次次回着地位置向き許容範囲の共通領域内で行われる。

次いで、S3860を経てS3852からの処理が再び実行される。これにより、最終的にS3856を経て、次回歩容支持脚座標系、および次次回歩容支持脚座標系の位置および向きが決定され、図31のS3802の処理が終了する。

以上が第5実施形態における図9のS022の軌道誘導処理である。

次いで、第5実施形態における図9のS034の軌道誘導補正サブルーチンの処理を、この処理のフローチャートである図35を用いて説明する。

まず、S 3 9 0 0において、前記第1実施形態の図20のS 3 1 0 0と同様、目標ZMPが許容範囲を越えた分 $e$ を求める。

次いでS 3 9 0 2に進み、ある所定の係数 $Ka$ に $e$ を乗じた量だけ、次回歩容支持脚座標系の位置、次次回歩容支持脚座標系の位置を修正する。

次いでS 3 9 0 4に進み、修正した次回歩容支持脚座標系の位置、次回歩容支持脚座標系の位置が環境依存次回着地位置向き許容範囲、環境依存次次回着地位置向き許容範囲および自己依存着地許容領域のいずれかを満足しない場合には、最小の修正量で、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きのいずれかを修正する。

すなわち、S 3 9 0 2で決定した値からなるべく離れないように、次回歩容支持脚座標系の位置と向き、次次回歩容支持脚座標系の位置と向きのいずれかを修正する。

なお、以上説明した第5実施形態は、本発明の第15発明～第27発明の一実施形態である。前記歩容生成処理、自己位置姿勢推定処理がそれぞれ目標歩容決定手段、足平着地位置・向き決定手段に対応し、軌道誘導処理及び軌道誘導補正処理がそれらを併せて、着地許容範囲設定手段、足平目標着地位置・向き決定手段に対応している。

次に本発明の第6実施形態を図36を参照して説明する。図36は第6実施形態における軌道計画処理（ロボットの足跡決定処理）である。この処理は、前記図6に示す前記移動計画部222において実行される。

第6実施形態においては、移動計画部222の処理以外は、第1実施形態と同じである。

図36を用いて第6実施形態における軌道計画処理を説明すると、まず、S 4 0 0 0において初期化を行う。具体的には、現在支持脚座標系

を第0歩支持脚座標系に代入し、歩数カウンタ  $nn$  を0にする。また、目標歩容を初期化する。目標歩容の初期状態は、通常、ロボット1の直立状態の歩容にする。

次いでS4002に進み、あらかじめ定められた目的地と地図情報から目標経路（目標足跡経路）を決定する。

次いでS4004を経てS4006に進み、図13の軌道誘導サブルーチン（第1実施形態での軌道誘導サブルーチン）を実行する。ただし、軌道誘導サブルーチンにおいては、同サブルーチン処理における推定支持脚座標系を第  $nn$  支持脚座標系に、次回歩容支持脚座標系を第  $nn+1$  支持脚座標系に、次次回歩容支持脚座標系を第  $nn+2$  支持脚座標系に置き換えて、該サブルーチン処理を実行する。

次いでS4008からS4020まで、図9のS024からS036と同様に実行される。

S4016の判断結果（目標ZMPが許容範囲に存在するか否かの判断結果）がNOである場合には、S4018に進み、前記図20に示した軌道誘導補正サブルーチンを実行し、次いでS4020を経てS4008に戻る。ただし、軌道誘導補正サブルーチンにおいては、S4006の軌道誘導サブルーチンの場合と同様、軌道誘導補正サブルーチン処理における推定支持脚座標系を第  $nn$  支持脚座標系に、次回歩容支持脚座標系を第  $nn+1$  支持脚座標系に、次次回歩容支持脚座標系を第  $nn+2$  支持脚座標系に置き換えて、該サブルーチン処理を実行する。

S4016の判断結果がYESである場合には、S4022に進み、ロボット1の最終的な移動目的地に到達するまでの目標軌道が生成されたか否かを判定する。

S4022の判定結果がYESである場合には、これをもって軌道計画処理を終了する。

## 72

S 4 0 2 2 の判断結果が N O である場合には、歩数カウンタ nn を 1 だけ増加させて、S 4 0 0 6 に戻る。

5 以上が、第 6 実施形態における軌道計画処理である。この処理がロボット 1 の移動前に実行され、この処理結果が、歩容生成装置 2 0 0 に渡される。

なお、以上説明した第 6 実施形態は、第 2 8 発明～第 3 4 発明の一実施形態である。図 3 6 のフローチャートの処理によって第 2 8 発明～第 3 4 発明の各手段が構成される。

10 上記第 6 実施形態では、ロボット 1 の移動前に、軌道計画処理によって、目標 Z M P の許容範囲および自己依存着地許容領域が満足されるので、歩容生成装置 2 0 0 では、図 9 の S 0 2 2 の処理を省略して、前記移動計画部 2 2 2 で決定した支持脚座標系の列を順々に次回支持脚座標系および次次回支持脚座標系に代入するだけでも良い。なお、図 3 6 の  
15 S 4 0 0 6 の軌道誘導サブルーチンおよび S 4 0 1 8 の軌道誘導補正サブルーチンの処理では、前記第 1 実施形態で説明したもの以外に、第 2 ～第 4 実施形態で説明した処理を実行するようにしてもよい。また、飛び石環境下でのロボット 1 の移動を行わせる場合に対応するロボット 1 の足跡を決定する場合には、S 4 0 0 6 の軌道誘導サブルーチンおよび  
20 S 4 0 1 8 の軌道誘導補正サブルーチンの処理で、前記第 5 実施形態で説明した処理を実行するようにしてもよい。これにより、本発明の第 3 5 ～第 4 1 発明の一実施形態が構成されることとなる。この場合には、ロボット 1 の移動前に、軌道計画処理によって、目標 Z M P の許容範囲および自己依存着地許容領域だけでなく、環境依存着地位置向き許容範囲が満足されるので、ロボット 1 の実際の移動時には、前記第 5 実施形  
25 態での図 9 の S 0 2 2 の処理を省略してもよい。

上記より、第 6 実施形態においては、移動前に軌道誘導処理の一部が

実行されていると解釈することもできる。

なお、前記各実施形態において、移動中に新たに発見された障害物等を回避しつつ目的位置まで移動する場合には、現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に応じて、現在推定支持脚座標系の位置姿勢から障害物等を回避して目的地に移動する目標経路を作り直しても良い。

また、前述のごとく足平代表点（支持脚座標系の代表点）を支持脚足平 2 2 から他方側の足平 2 2 の方にずれた位置に設定する代わりに、各足平 2 2 の足平代表点を足平 2 2 の中の左右の中央に設定し、前記した各実施形態の目標経路から少し離れた位置に左脚用目標経路（左足平の目標足跡経路）と右脚用目標経路（右足平の目標足跡経路）を設定し、各足平代表点がそれぞれに対応する目標足跡経路に漸近するように、遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢を決定しても良い。図 3 7 に、前記第 2 実施形態に対して、左右の各足平 2 2 毎に上記のごとき目標経路を設定した場合の例（第 7 実施形態）を示す。他の実施例に対しても、同様に変更しても良い。

飛行体の軌道誘導や無人搬送車の軌道誘導のように、推定上体位置姿勢が目標上体位置姿勢に追従するように、遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢を変更する方式も考えられる。ただし、直線移動する場合であっても、動力学的平衡条件を満足するために、目標上体位置は、前後左右に揺れるので、目標上体位置の瞬間的な移動方向が長期的な移動方向とは一致しない。また、目標歩容を修正すると目標上体位置姿勢も変化するため、すなわち、目標上体位置姿勢は現在の歩行状態にも依存するため、該目標上体位置姿勢の軌道は、グローバル座標系上に絶対的に設定できる目標軌道にはならない。したがって、この方式では、それらの不都合を解消するために、上体 3 が前後左右に揺れる分をキャンセルして長期的な上体 3 の移動方向を導出するなどの極めて複雑な処理が必要となる。

目標経路としては、記憶している地図情報に基づいて設定した経路以外に、床等に設置されたマーカー、床に引かれた白線、通電線、アンテナ、壁から所定距離離れた点の集合から成る経路（壁沿い移動のため）であっても良い。

- 5 推定自己位置の表記としては、グローバル座標系上の位置でなくても、床に引かれた白線や壁からの距離などのように、環境との相対位置関係であっても良い。

- 歩容の切り替わり目以外でも軌道誘導処理を実行して、着地位置姿勢などの歩容パラメータを修正するようにしても良い。ただし、今回歩容
- 10 の遊脚足平 2 2 の着地位置は、着地直前になるとほとんど変更できなくなるので、この場合には、主に次回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置を変更するようにする。今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢の変更が間に合わない場合には、今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢は修正せず、次回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢のみ修正することが好ましい。
- 15 い。

- なお、今回歩容の遊脚足平 2 2 の着地位置姿勢の修正が間に合わない場合とは、プログラム上、目標 Z M P 軌道あるいは遊脚足平軌道が変更できない場合、あるいは、目標着地位置を変更すると、足平の加速度パターン、関節速度、力（トルク）あるいは目標 Z M P 軌道が限界を越えるなど、ロボットの物理的限界を越えて修正される場合のことを指す。
- 20

- 前記軌道誘導サブルーチンで求めた次回および次次回歩容支持脚座標系の位置と向きとを軌道誘導補正サブルーチンで変更する場合、前記各実施形態の軌道誘導補正サブルーチンを用いる代わりに、前記軌道誘導サブルーチンを用いて、前記所定の長さ  $Lr0$ 、 $Lr1$ 、 $Lq0$  および  $Lq1$  の
- 25 少なくともいずれかを設定し直して（通常、 $Lq0$ 、 $Lq1$  は長くし、 $Lr0$ 、 $Lr1$  は短くして）、次回および次次回歩容支持脚座標系の位置と向きを



再決定させても良い。

5 以上のように、本発明の各実施形態は、基本的には、上体3の揺れの影響をほとんど受けない足平22の着地位置姿勢（向き）を基に目標歩容を決定するので、目標経路に対する追従精度と追従応答性が高い軌道誘導をすることができる。

また、第1～第5実施形態あるいは第7実施形態では、

- 1) 目標経路に対する追従精度と追従応答性が高い軌道誘導（経路誘導）をすることができる。
  - 2) 脚体2同士の干渉などロボット自身の構造に起因する運動の制約条件を満足した軌道誘導（経路誘導）をすることができる。
  - 3) 安定余裕を高く維持した軌道誘導（経路誘導）をすることができる。
- さらに、第6実施形態では、
- 4) 脚体2同士の干渉などロボット自身の構造に起因する運動の制約条件を満足した移動計画を立てることができる。
  - 15 5) 安定余裕を高く維持した移動計画を立てることができる。

#### 産業上の利用可能性

20 以上のように本発明は、2足移動ロボット等の脚式移動ロボットを所要の目標経路に沿わせるように移動させたり、あるいは、飛び石等、足平の着地位置等が制限される環境下でロボットを移動させたりする場合に、その移動を円滑に行わせることができるものとして有用である。

## 請 求 の 範 囲

1. 複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットにおいて、

前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、

前記ロボットの目標足跡経路を設定する目標経路設定手段と、

少なくとも前記推定された足平の着地位置及び着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、ロボットの実際の足跡を該目標足跡経路に近づけるようにロボットの次回以降の着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の目標着地向きを決定する足平目標着地向き決定手段と、

前記足平目標着地向き決定手段により決定された目標着地向きを少なくとも用いてロボットの目標歩容を決定する目標歩容決定手段と、

その決定された目標歩容に応じて前記ロボットの動作を制御する動作制御手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

2. 前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

3. 前記脚式移動ロボットは2本の脚体を備えた2足移動ロボットであり、前記足平目標着地向き決定手段が決定する目標着地向きは、少なくともロボットの次回の着地動作で着地する足平の目標着地向きと次々回の着地動作で着地する足平の目標着地向きとを含み、前記目標歩容決定手段は、前記次回及び次々回の着地動作にそれぞれ対応して前記足平目標着地向き決定手段により決定された前記目標着地向きを少なくとも用いてロボットの次回の着地動作を規定する目標歩容を決定することを特

徴とする請求の範囲第1項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

4. 前記足平目標着地向き決定手段は、少なくとも前記足平着地位置・向き推定手段により推定された足平の着地位置及び着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、前記目標着地向きを決定する足平の目標着地位置を該目標着地向きと共に決定し、前記目標歩容決定手段は、該足平目標着地向き決定手段により決定された目標着地位置及び目標着地向きを用いて前記目標歩容を決定することを特徴とする請求の範囲第1項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

5. 前記足平目標着地向き決定手段は、少なくとも次の着地動作を含む所定数回先までの各回の着地動作で着地する足平の鉛直軸回りの目標着地向き及び目標着地位置を少なくとも前記足平着地位置・向き推定手段により推定された前記着地位置及び着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて決定する手段であり、前記目標歩容決定手段は、該足平目標着地向き決定手段により決定された前記所定数回先までの各回の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いて該次の着地動作を規定する目標歩容を決定する手段であり、前記足平目標着地向き決定手段は、少なくとも次の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、当該次の着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲内に該足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定することを特徴とする請求の範囲第4項記載の脚式移動ロボットの制御装置。

6. 前記自己依存着地許容範囲は、前記着地動作により着地した足平に対する、次の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることを特徴とする請求の範囲第5項に記載の脚式移動ロボットの

制御装置。

7. 前記目標歩容決定手段は、少なくとも前記足平目標着地向き決定手段が決定した目標着地位置及び目標着地向きを用いて前記次の着地動作を規定する前記目標歩容における目標ZMPを仮決定する手段を備え、

- 5 前記足平目標着地向き決定手段は、その仮決定された目標ZMPが所定の制限条件を満たさないとき、前記所定回数先までの着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の前記目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正することを特徴とする請求の範囲5項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

- 10 8. 前記脚式移動ロボットは2本の脚体を備えた2足移動ロボットであり、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する代表点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定められた代表点の目標位置であり、
- 15 前記目標足跡経路は、前記代表点が近づくべき経路であることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

9. 前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることを特徴とする請求の範囲8項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

- 20 10. 複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットの目標歩容を決定して、該目標歩容に応じて前記ロボットの動作を制御すると共に、少なくとも前記ロボットの各回の着地動作によりロボットの脚体の足平が着地する毎に新たな目標歩容を決定するとき、該目標歩容に続く仮想的な周期的歩容
- 25 を決定し、その周期的歩容に近づけるように該目標歩容を決定する脚式移動ロボットの制御装置において、

前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、

前記ロボットの目標足跡経路を設定する目標経路設定手段と、

5 前記ロボットの次回以降の少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを、最新の目標歩容および該目標歩容に対応する前記周期的歩容の少なくともいずれかと、前記推定された足平の着地位置及び着地向きとに基づいて仮決定する足平目標着地位置・向き仮決定手段と、

10 その仮決定した目標着地位置及び目標着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて、ロボットの実際の足跡を該目標足跡経路に近づけるように前記仮決定した目標着地位置及び目標着地向きの少なくともいずれかを修正する足平目標着地位置・向き修正手段と、

15 その修正された目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いてロボットの新たな前記目標歩容を決定する目標歩容決定手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

1 1. 前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

20 1 2. 前記目標歩容決定手段は、少なくとも前記足平目標着地位置・向き修正手段による修正後の目標着地位置及び目標着地向きを用いて前記新たな目標歩容における目標ZMPを仮決定する手段を備え、前記足平目標着地位置・向き修正手段は、その仮決定された目標ZMPが所定の制限条件を満たさないとき、前記足平目標着地位置・向き仮決定手段により仮決定された、少なくともいずれかの回の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかをさらに修正す

25

ることを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

13. 前記脚式移動ロボットは、2本の脚体を備えた2足移動ロボットであり、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する代表点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定められた代表点の目標位置であり、前記目標足跡経路は、前記代表点が近づくべき経路であることを特徴とする請求の範囲第10項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

10 14. 前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることを特徴とする請求の範囲13項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

15 15. 複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着床動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットにおいて、

前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、

前記ロボットの各回の着地動作により着地する足平の着地位置及び着地向きの組の許容範囲であって、該ロボットが移動する環境条件により定まる環境依存着地許容範囲のうち、少なくとも次回及び次次回を含む所定回数先までの各回の着地動作にそれぞれ対応する複数の環境依存着地許容範囲を設定する足平着地許容範囲設定手段と、

少なくとも前記推定された足平の着地向きと前記足平着地許容範囲設定手段により設定された複数の環境依存着地位置許容範囲とに基づいて、各環境依存着地位置許容範囲を満たすように、前記所定回数先までの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定する足平目標着地位置・向き決定手段と、

その決定された前記所定回数先までの各回の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いてロボットの仮想的な周期的歩容を決定し、その決定した仮想的な周期的歩容に近づけるように、少なくとも次回の着地動作を規定するロボットの新たな目標歩容を決定する目標歩容決定手段と、

その決定された新たな目標歩容に応じて前記ロボットの動作を制御する動作制御手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

16. 前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことを特徴とする請求の範囲第15項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

17. 前記足平目標着地位置・向き決定手段は、少なくとも次回の着地動作における足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定するとき、当該着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲と、前記次回の着地動作に対応する前記環境依存着地許容範囲との両許容範囲の共通範囲内に該足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定し、前記目標歩容決定手段は、前記仮想的な周期的歩容を決定するために少なくとも当該次回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを用いることを特徴とする請求の範囲第15項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

18. 前記自己依存着地許容範囲は、前記着地動作により着地した足平に対する、次回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることを特徴とする請求の範囲第17項に記載の脚式移動ロボッ

トの制御装置。

19. 前記目標歩容決定手段は、少なくとも前記回目の着地動作を規定するロボットの目標歩容における目標ZMPを仮決定する手段を備え、前記足平目標着地位置・向き決定手段は、その仮決定された目標ZMPが所定の制限条件を満たさないとき、前記所定回数先までの着地動作のうちの少なくともいずれかの回の着地動作で着地する足平の前記目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正することを特徴とする請求の範囲第15項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

20. 前記脚式移動ロボットは、2本の脚体を備えた2足移動ロボットであり、前記足平の目標着地位置は、前記各足平に対して所定の位置関係を有する代表点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が同一の点となるように各足平に対してあらかじめ設定された代表点の目標位置であることを特徴とする請求の範囲第15項又は第17項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

21. 前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることを特徴とする請求の範囲20項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

22. 複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着床動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットにおいて、

前記ロボットの各回の着地動作により着地した脚体の足平の着地位置及び着地向きを推定する足平着地位置・向き推定手段と、

前記ロボットの各回の着地動作により着地する足平の着地位置及び着地向きの組の許容範囲であって、該ロボットが移動する環境条件により定まる環境依存着地許容範囲のうち、少なくとも次回及び次次回を含む所定回数先までの各回の着地動作にそれぞれ対応する複数の環境依存着



地許容範囲を設定する第1着地許容範囲設定手段と、

前記足平着地位置・向き推定手段により推定された各回の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きと、次回の着地動作を行う脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件とに基づいて、次回の着地動作で着地する足平の着地位置及び着地向きの組に対する自己依存着地許容範囲を設定する第2着地許容範囲設定手段と、

少なくとも前記次回の着地動作に対応して前記第1着地許容範囲設定手段及び第2着地許容範囲設定手段によりそれぞれ設定された環境依存着地許容範囲と自己依存着地許容範囲とに基づいて、それらの両許容範囲の共通範囲内に該次回の着地動作に対応する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定する足平目標着地位置・向き決定手段と、

その決定された目標着地位置及び目標着地向きを少なくとも用いて次回の着地動作を規定する目標歩容を決定する目標歩容決定手段と、

その決定された目標歩容に応じてロボットの動作を制御する動作制御手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

23. 前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであり、前記足平着地位置・向き推定手段が推定する着地向きは、少なくとも鉛直軸回りの向きを含むことを特徴とする請求の範囲第22項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

24. 前記足平目標着地位置・向き決定手段は、次回の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きを決定した後、その決定した目標着地位置及び目標着地向きと前記ロボットの機構的制約条件とに基づいて次次回の着地動作で着地する足平の着地位置に対する自己依存着地許容範囲を仮決定する手段と、少なくともその仮決定した次次回の着地動作に対応する自己依存着地許容範囲と該次次回の着地動作に対応して前記第1着地許容範囲設定手段が設定した次次回環境依存許容範囲とが共通

範囲を持たないとき、該共通範囲を持つように前記回目の着地動作に対応する目標着地位置及び目標着地向きの少なくともいずれかを修正する手段とを備えることを特徴とする請求の範囲第22項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

- 5 25. 前記第2着地許容範囲設定手段は、前記着地動作により着地した足平に対する、次の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて前記自己依存着地許容範囲を設定することを特徴とする請求の範囲第22項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- 10 26. 前記脚式移動ロボットは、2本の脚体を備えた2足移動ロボットであり、前記足平の目標着地位置は、前記各足平に対して所定の位置関係を有する点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ設定された代表点の位置であることを特徴とする請求の範囲第4項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。
- 15 27. 前記代表点は、各足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることを特徴とする請求の範囲第26項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。
28. 複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットの各回の着地動作により着地する脚体の足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定する足跡決定装置であって、

前記ロボットの目標足跡経路を設定する目標経路設定手段を備え、

- 25 前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを、少なくとも1つ前の回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと、前記目標足跡経路とに基づいて決定する

ことを特徴とする脚式移動ロボットの足跡決定装置。

29. 前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであることを特徴とする請求の範囲第28項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

30. 前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、当該着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地許容範囲内に当該着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定することを特徴とする請求の範囲第28項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。
- 10 31. 前記ロボットの任意の第N回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するときに用いる前記自己依存着地許容範囲は、第N-1回の着地動作により着地する足平に対する、第N回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることを特徴とする請求の範囲第30項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。
- 15 32. 前記ロボットの任意の第N回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、該第N回の着地動作を含めて所定数回先の着地動作までの足平の目標着地位置及び目標着地向きを、第N-1回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと前記目標足跡経路とに基づいて仮決定する目標着地位置・向き仮決定手段と、
- 20

その仮決定した所定数回先の着地動作までの目標着地位置及び目標着地向きを用いて少なくとも前記第N回の着地動作を規定するロボットの仮目標歩容を決定する仮目標歩容決定手段と、

- 25 その決定した仮目標歩容に対応する目標ZMPが所定の制限条件を満たすか否かを判断し、満たさない場合には、前記第N回の着地動作に係

わる足平の目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正して、該第N回の着地動作に係わる足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定する目標着地位置・向き修正手段とを備えたことを特徴とする請求の範囲第28項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

- 5 33. 前記脚式移動ロボットは、2本の脚体を有する2足移動ロボットであり、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定めた代表点の目標位置であり、前記
- 10 目標足跡経路は、前記代表点が近づくべき経路であることを特徴とする請求の範囲第28項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

34. 前記代表点は、両足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることを特徴とする請求の範囲33項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

- 15 35. 複数の脚体のそれぞれの離床動作及びこれに続く着地動作を繰り返すことにより移動する脚式移動ロボットの各回の着地動作により着地する脚体の足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定する足跡決定装置であって、

- 20 前記ロボットの各回の着地動作により着地する足平の着地位置及び着地向きの組の許容範囲であって、該ロボットが移動する環境条件により定まる環境依存着地許容範囲を設定する足平着地許容範囲設定手段と、

- 前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を、少なくとも1つ前の回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと、前記環境依存着地許容範囲とに基づ
- 25 いて決定することを特徴とする脚式移動ロボットの足跡決定装置。

36. 前記目標着地向きは、鉛直軸回りの向きであることを特徴とする

請求の範囲第36項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

37. 前記ロボットの各回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きを決定するとき、当該着地動作を行なう脚体と他の脚体との干渉等、ロボット自身の機構的制約条件により定めた自己依存着地  
5 許容範囲と、当該着地動作で着地する足平に対応する前記環境依存着地許容範囲とに基づいて、両許容範囲の共通範囲内に該足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定することを特徴とする請求の範囲第35項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

38. 前記ロボットの任意の第N回の着地動作で着地する足平の目標着  
10 地位置及び目標着地向きを決定するときに用いる前記自己依存着地許容範囲は、第N-1回の着地動作により着地する足平に対する、第N回の着地動作で着地する足平の相対的な着地許容範囲を規定するものとしてあらかじめ定められたマップ又は演算式に基づいて設定されることを特徴とする請求の範囲第37項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

39. 前記ロボットの任意の第N回の着地動作で着地する足平の目標着  
15 地位置及び目標着地向きを決定するとき、該第N回の着地動作を含めて所定数回先の着地動作までの足平の目標着地位置及び目標着地向きを、第N-1回の着地動作で着地する足平の目標着地位置及び目標着地向きと前記所定数回先までの各回の着地動作に対応する前記環境依存着地許  
20 容範囲と、該所定数回先までの各回の着地動作に対応する前記自己依存着地許容範囲とに基づいて仮決定する目標着地位置・向き仮決定手段と、

その仮決定した所定数回先の着地動作までの目標着地位置及び目標着地向きを用いて少なくとも前記第N回の着地動作を規定するロボットの仮目標歩容を決定する仮目標歩容決定手段と、

25 その決定した仮目標歩容に対応する目標ZMPが所定の制限条件を満たすか否かを判断し、満たさない場合には、前記第N回の着地動作に係

わる足平の目標着地位置及び目標着地向きのうちの少なくともいずれかを修正して、該第N回の着地動作に係わる足平の目標着地位置及び目標着地向きの組を決定する目標着地位置・向き修正手段とを備えたことを特徴とする請求の範囲第37項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

5

40. 前記脚式移動ロボットは、2本の脚体を有する2足移動ロボットであり、前記足平の目標着地位置は、各足平に対して所定の位置関係を有する点であって、且つ前記ロボットを左右対称の所定の基準姿勢で起立させたときに各足平に対する当該点が両足平について同一の点となるように各足平に対してあらかじめ定めた代表点の目標位置であることを特徴とする請求の範囲第35項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

10

41. 前記代表点は、両足平の踵寄りまたはつま先寄りに設定された点であることを特徴とする請求の範囲40項に記載の脚式移動ロボットの足跡決定装置。

15

1 / 29

FIG.1

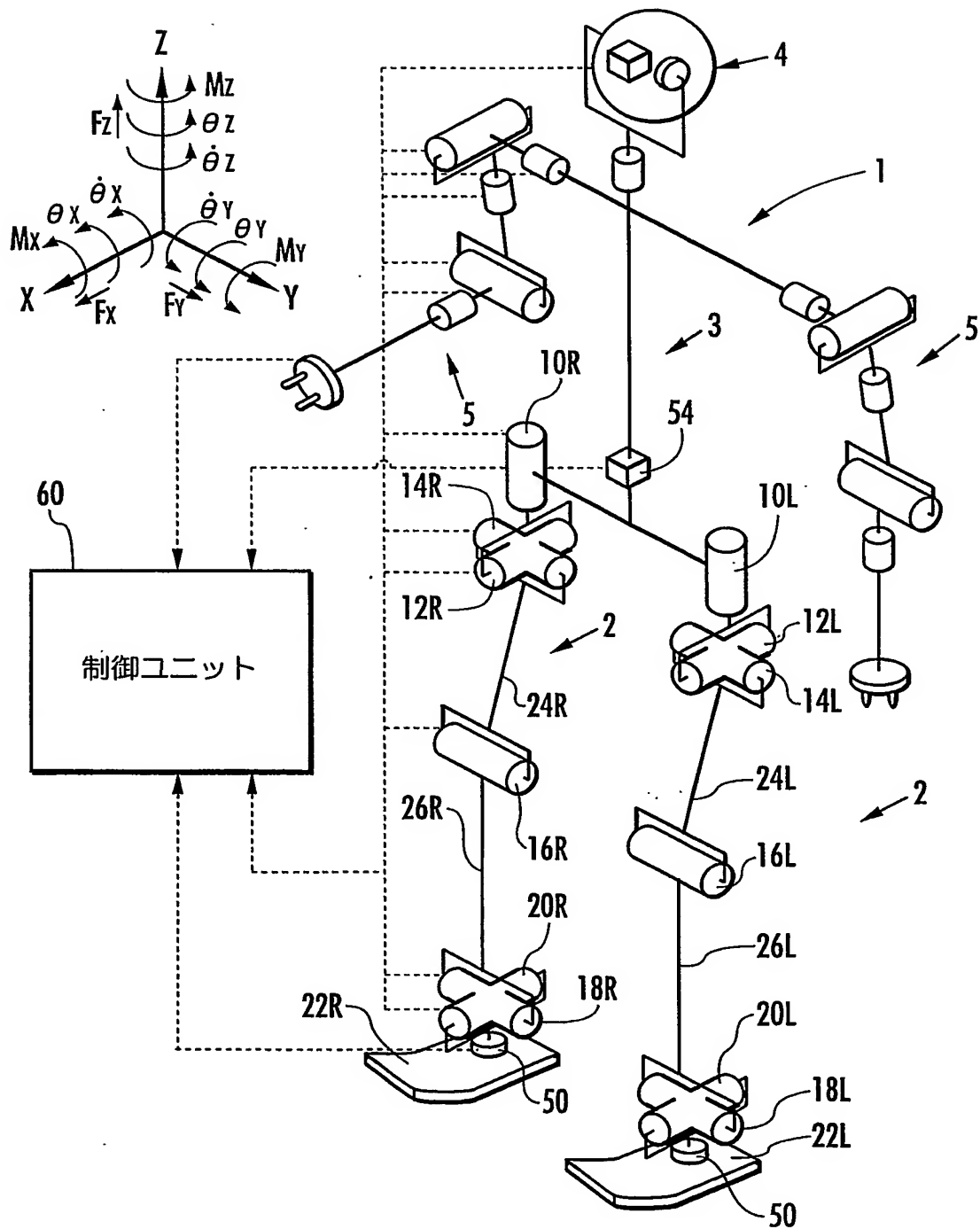


FIG.2

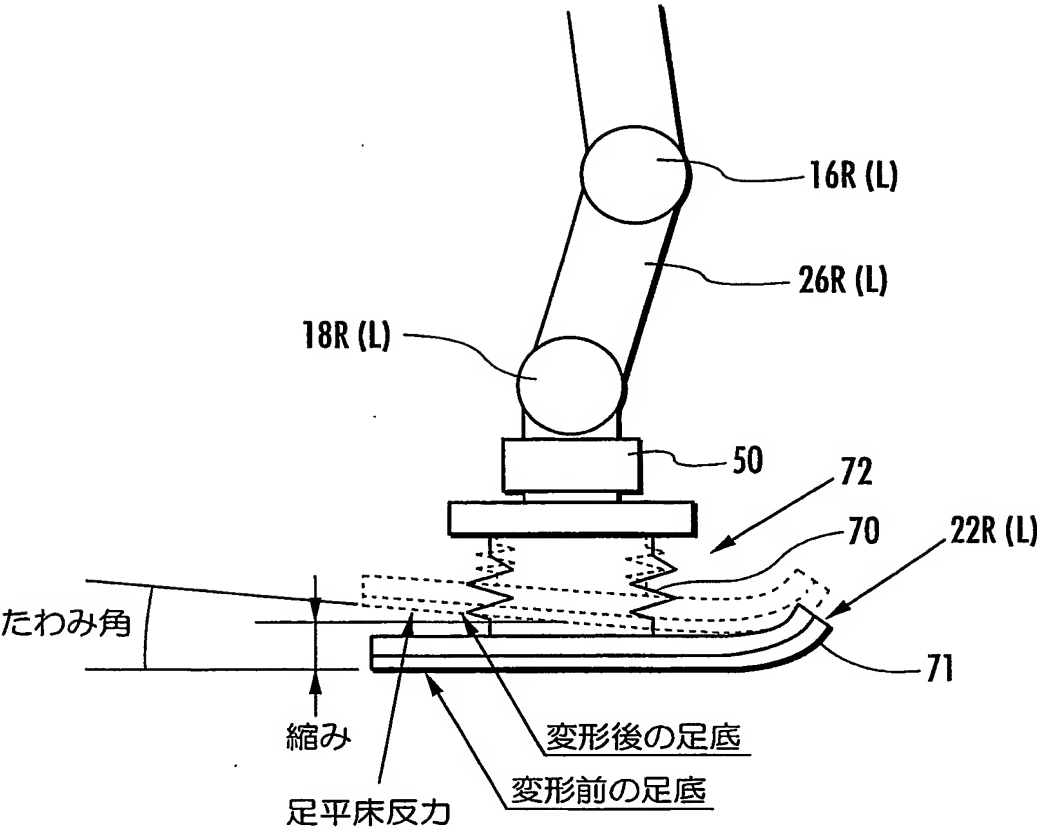




FIG.3

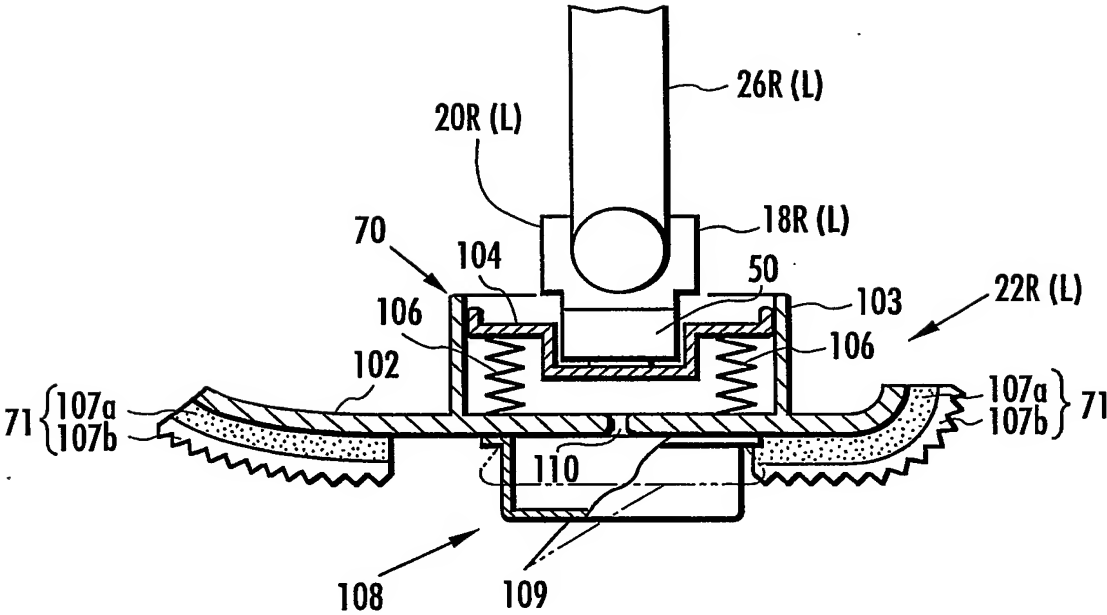
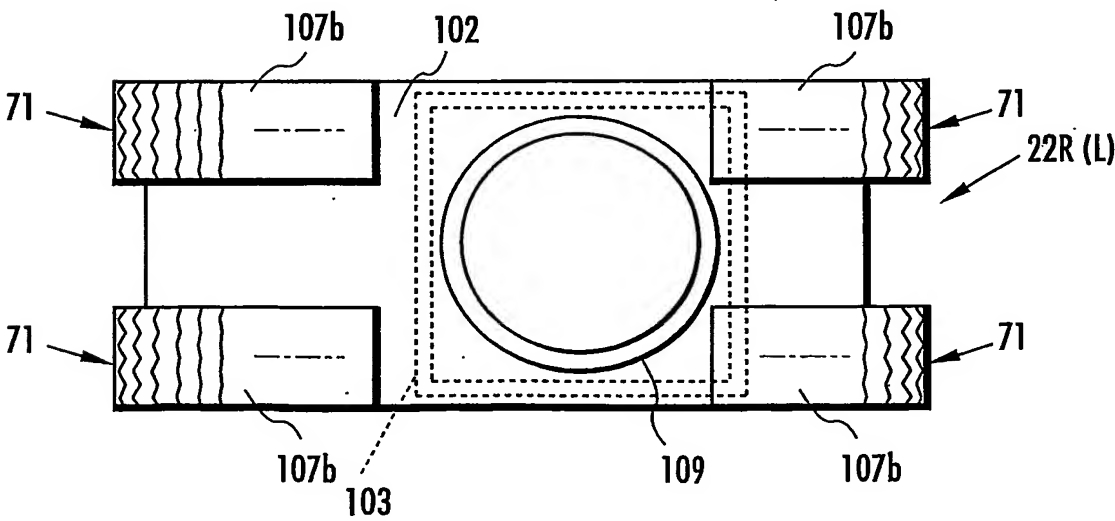
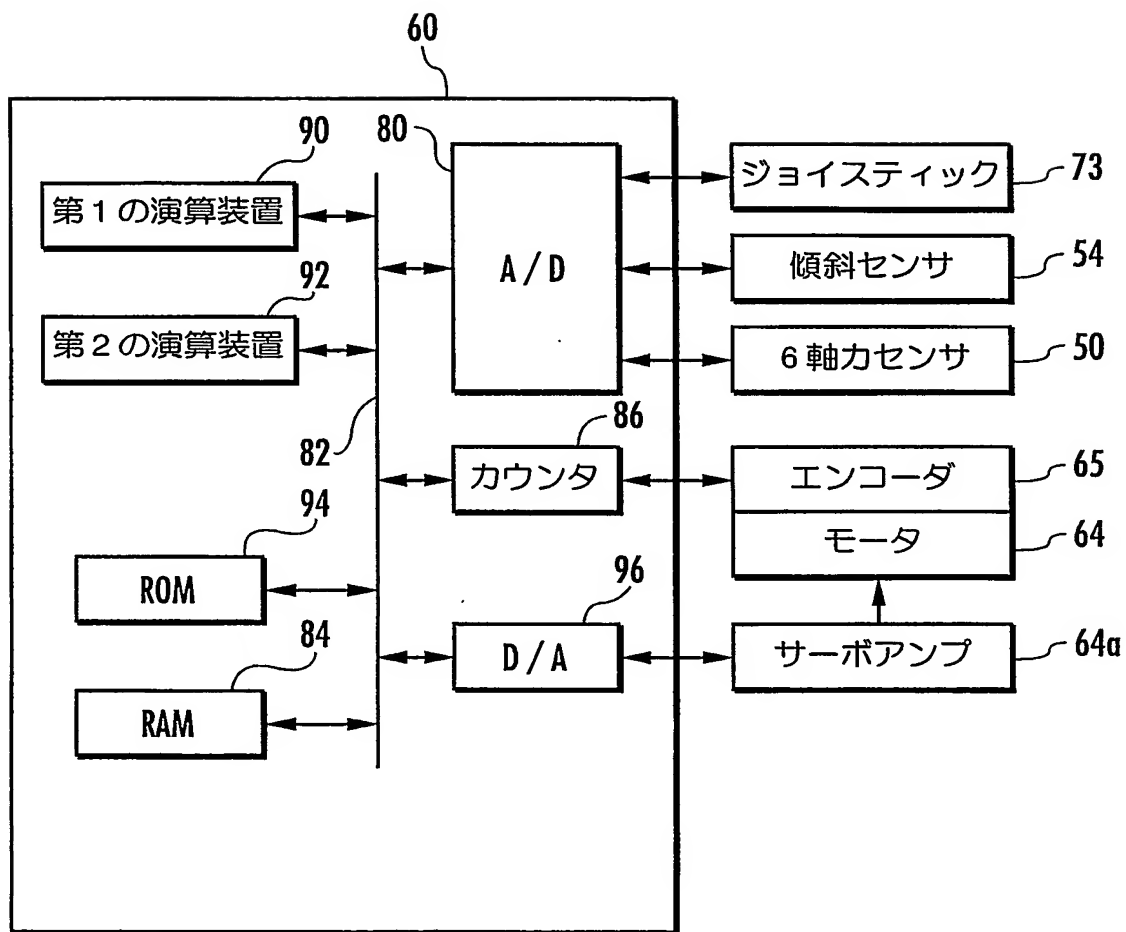


FIG.4



4 / 29

FIG.5



**FIG. 6**

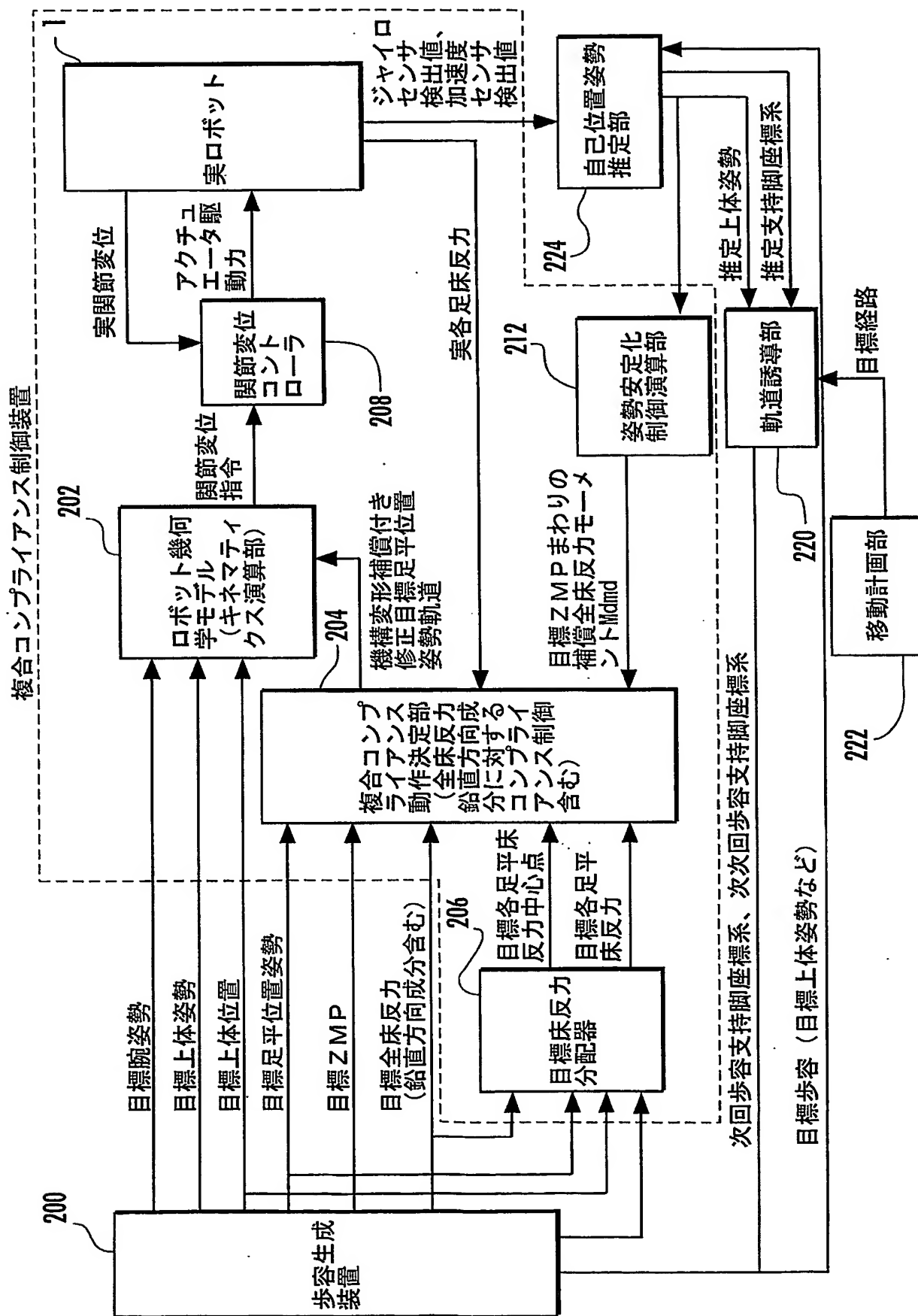
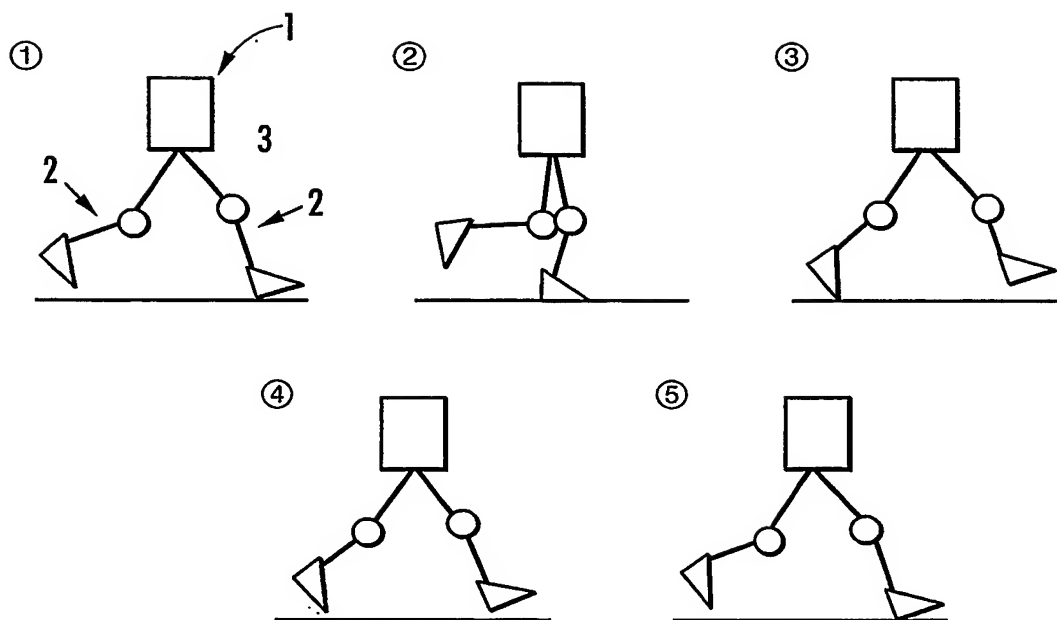


FIG.7



7 / 29

FIG.8(a)

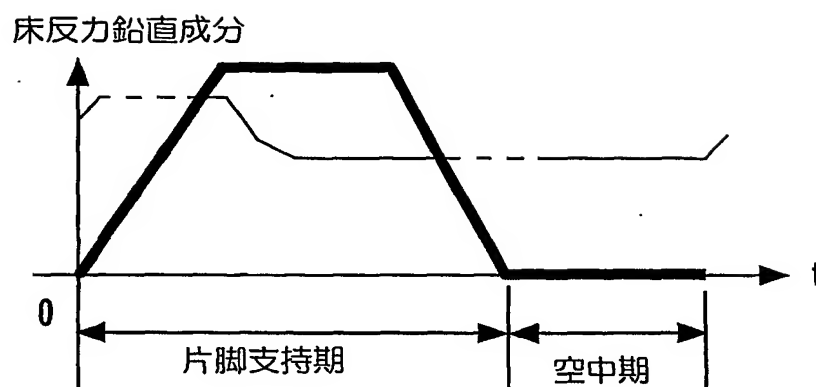
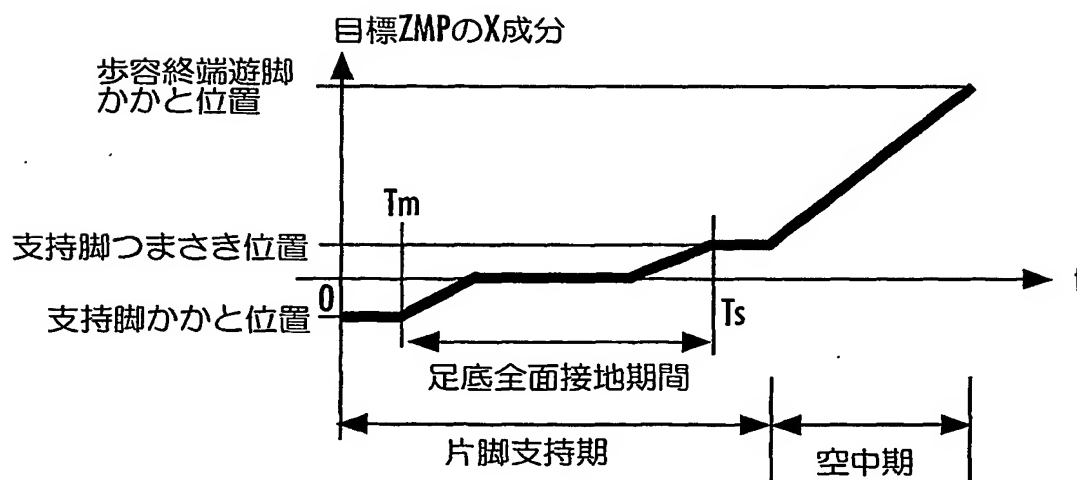
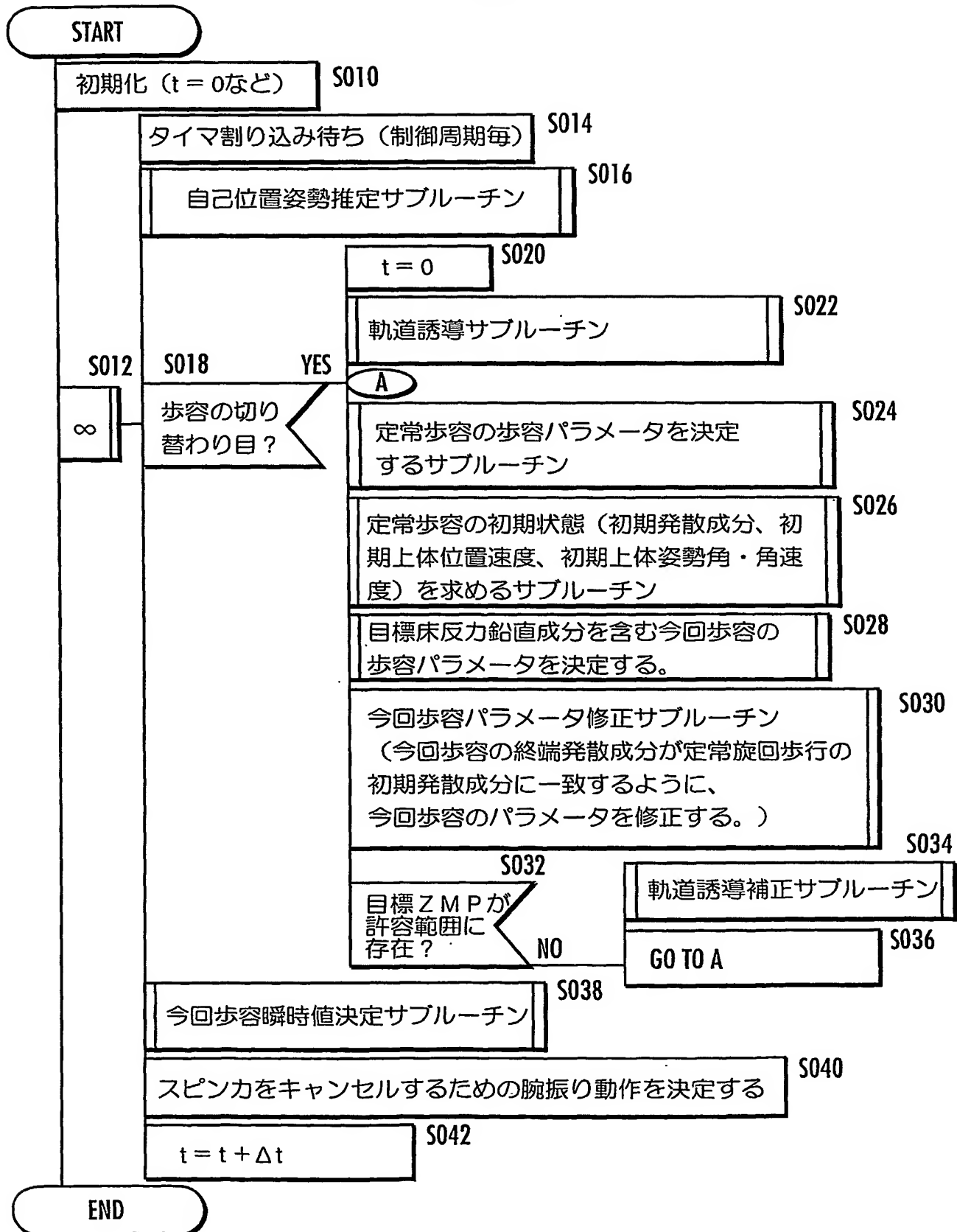


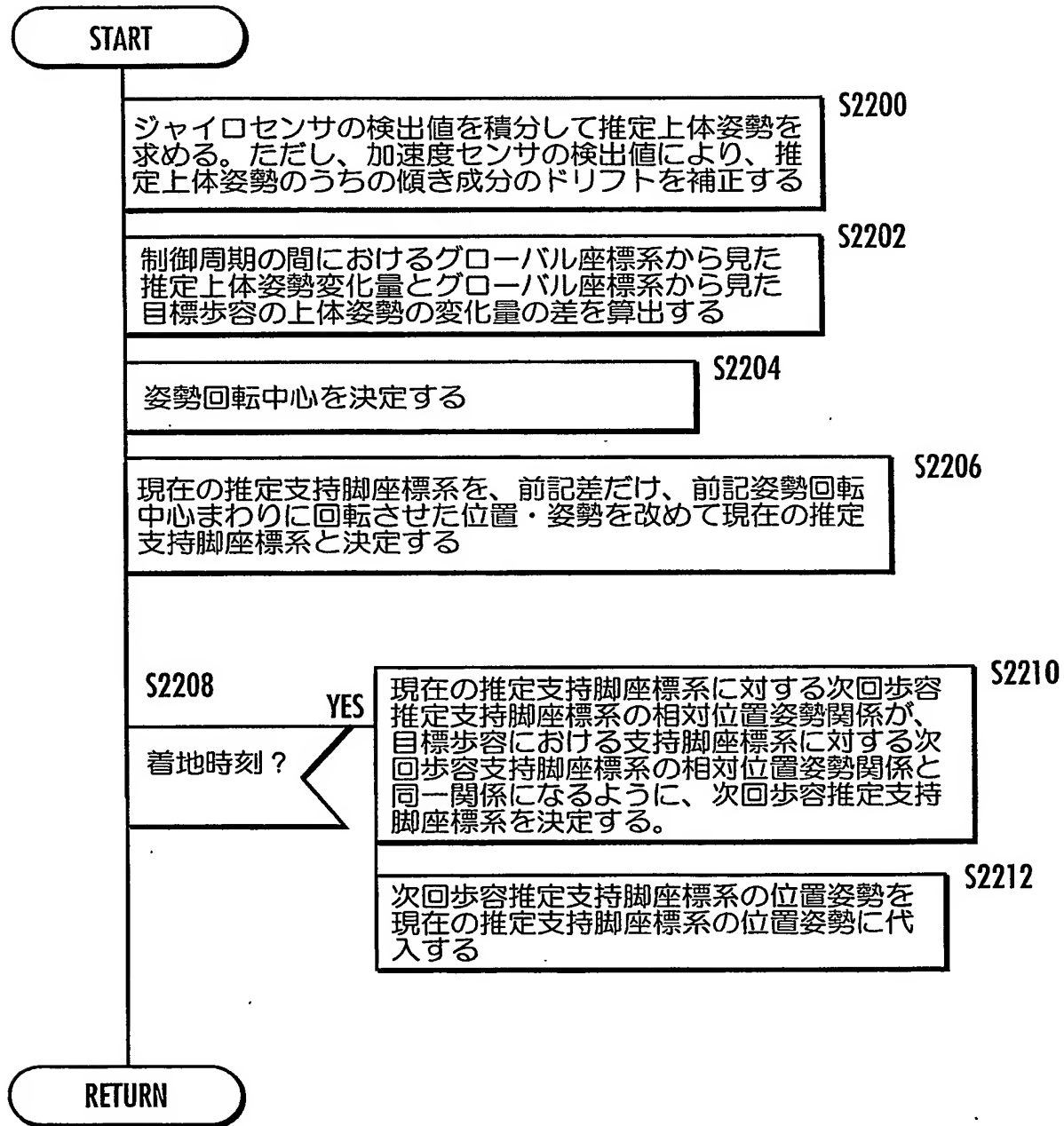
FIG.8(b)



8 / 29  
FIG.9

9 / 29

FIG.10



10/29

FIG.11

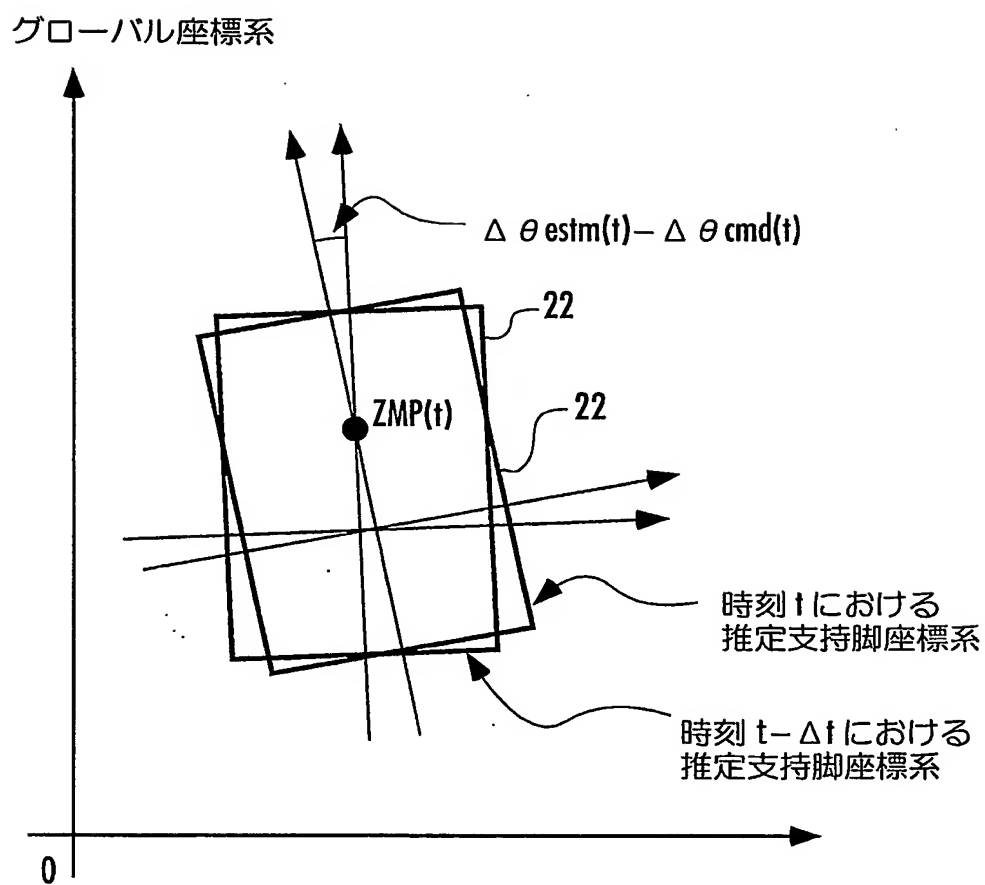
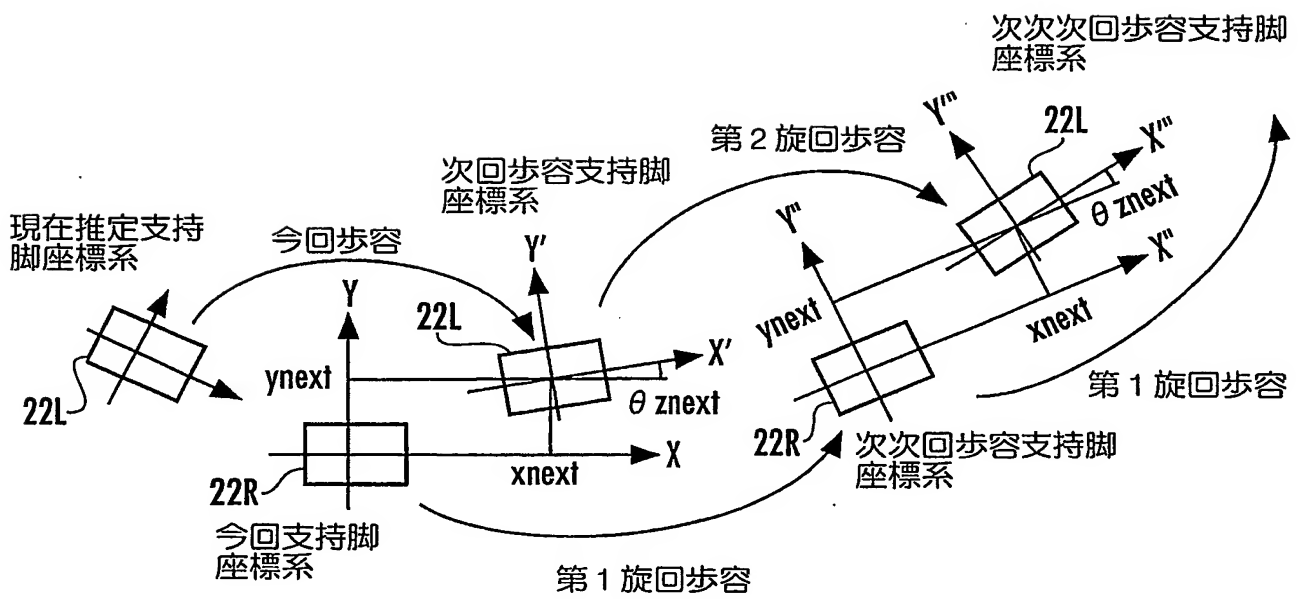


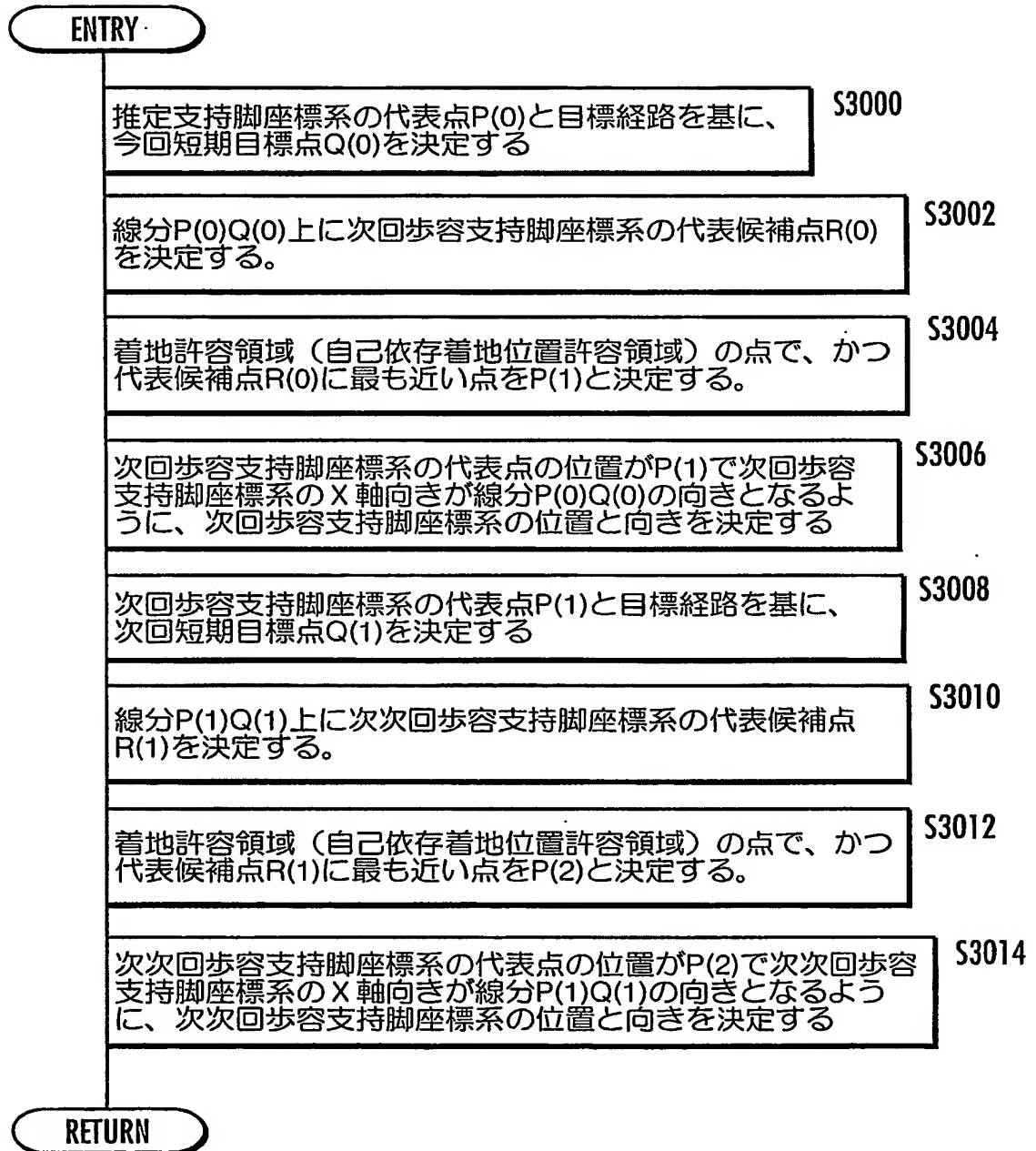


FIG.12



12 / 29

FIG.13



13 / 29

FIG.14

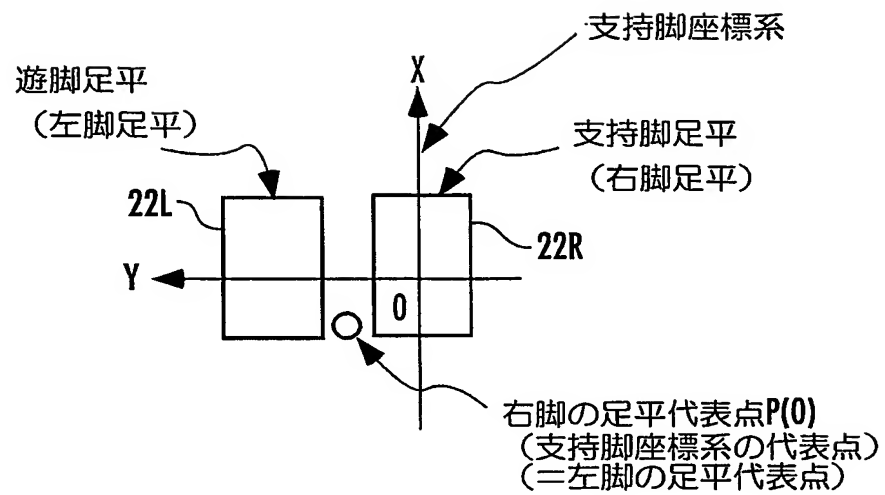
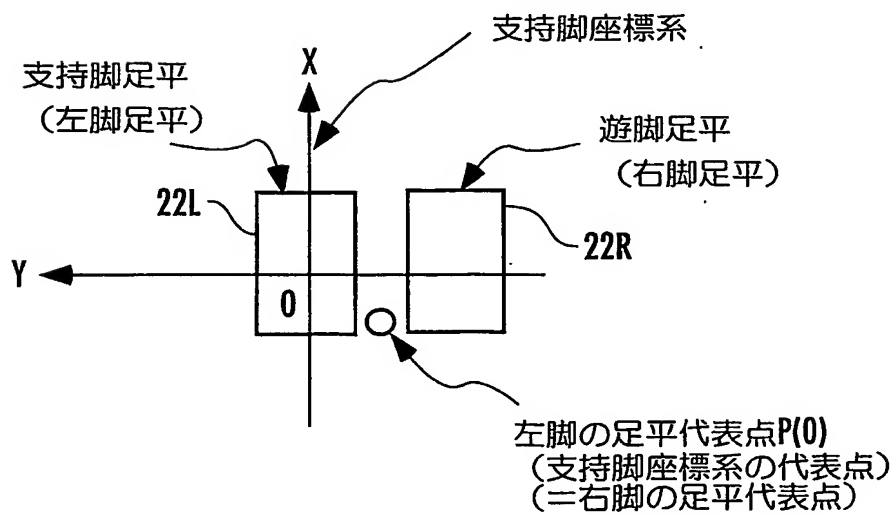


FIG.15



14 / 29

FIG.16

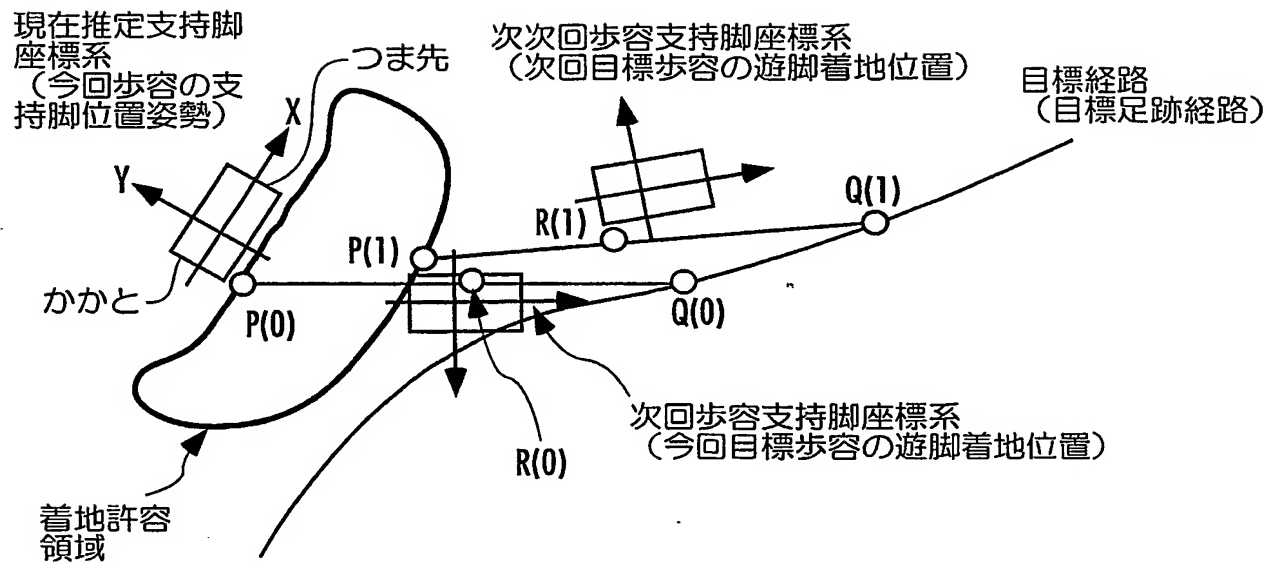


FIG.17

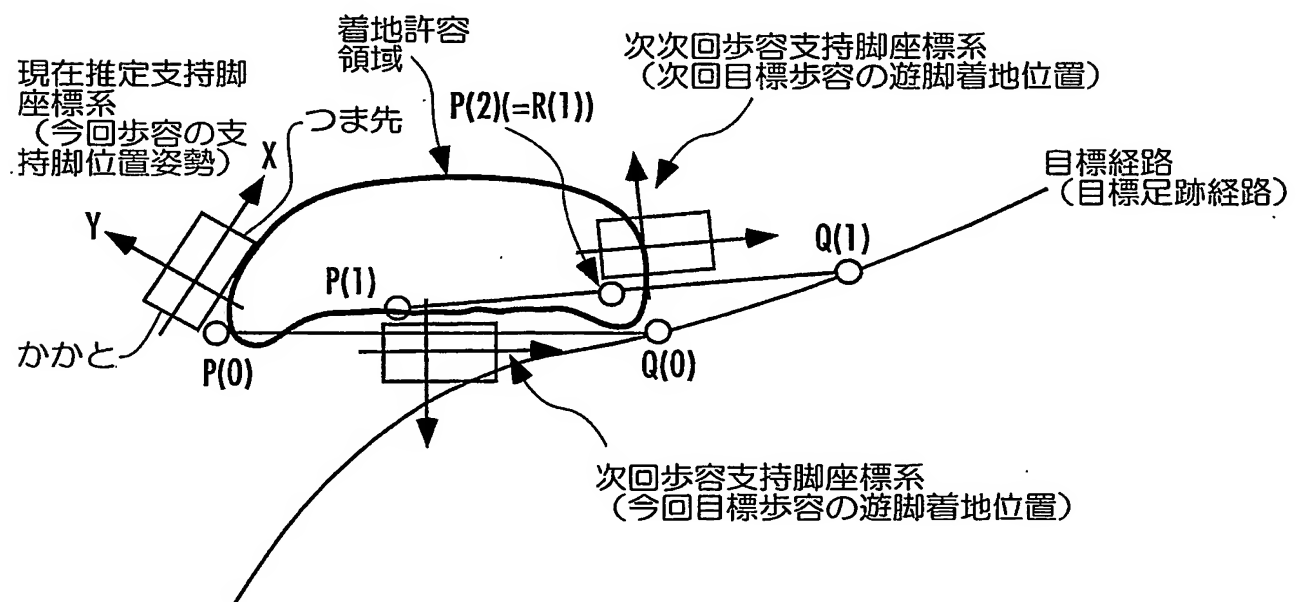


FIG.18

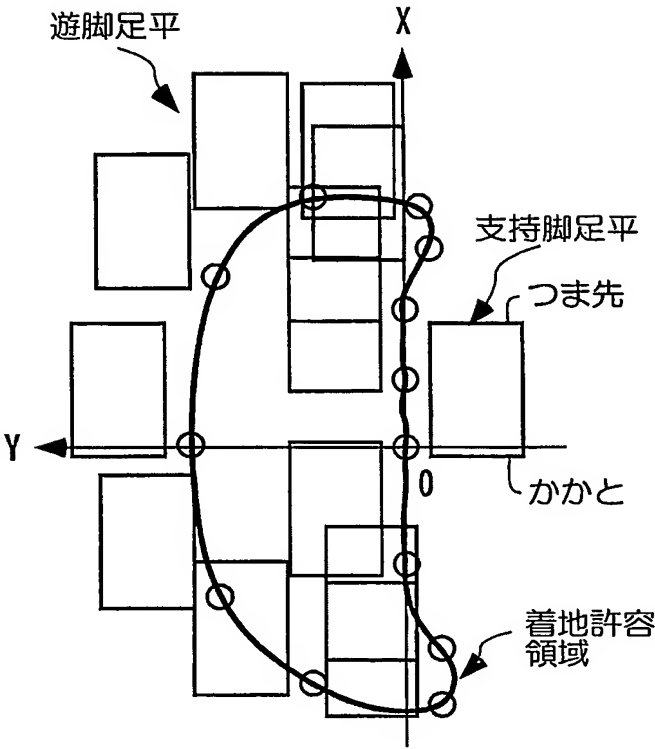
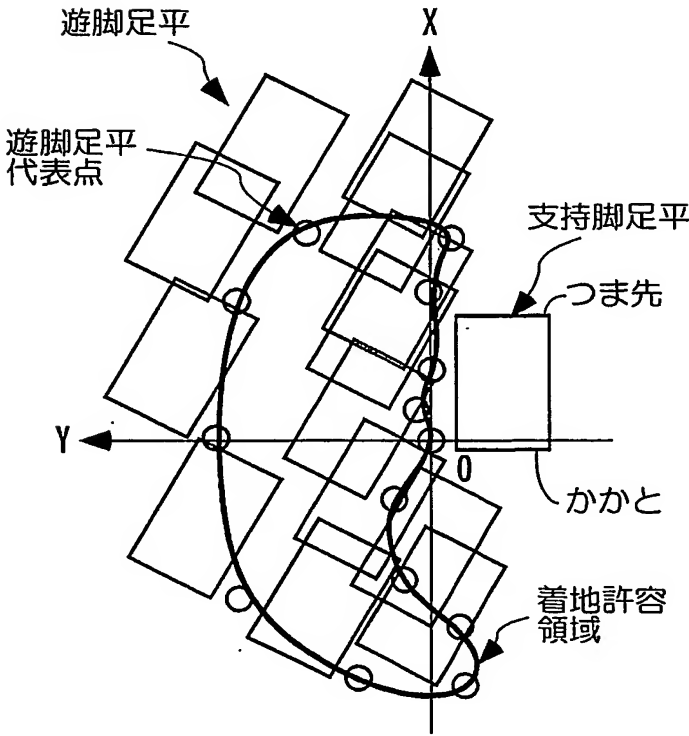
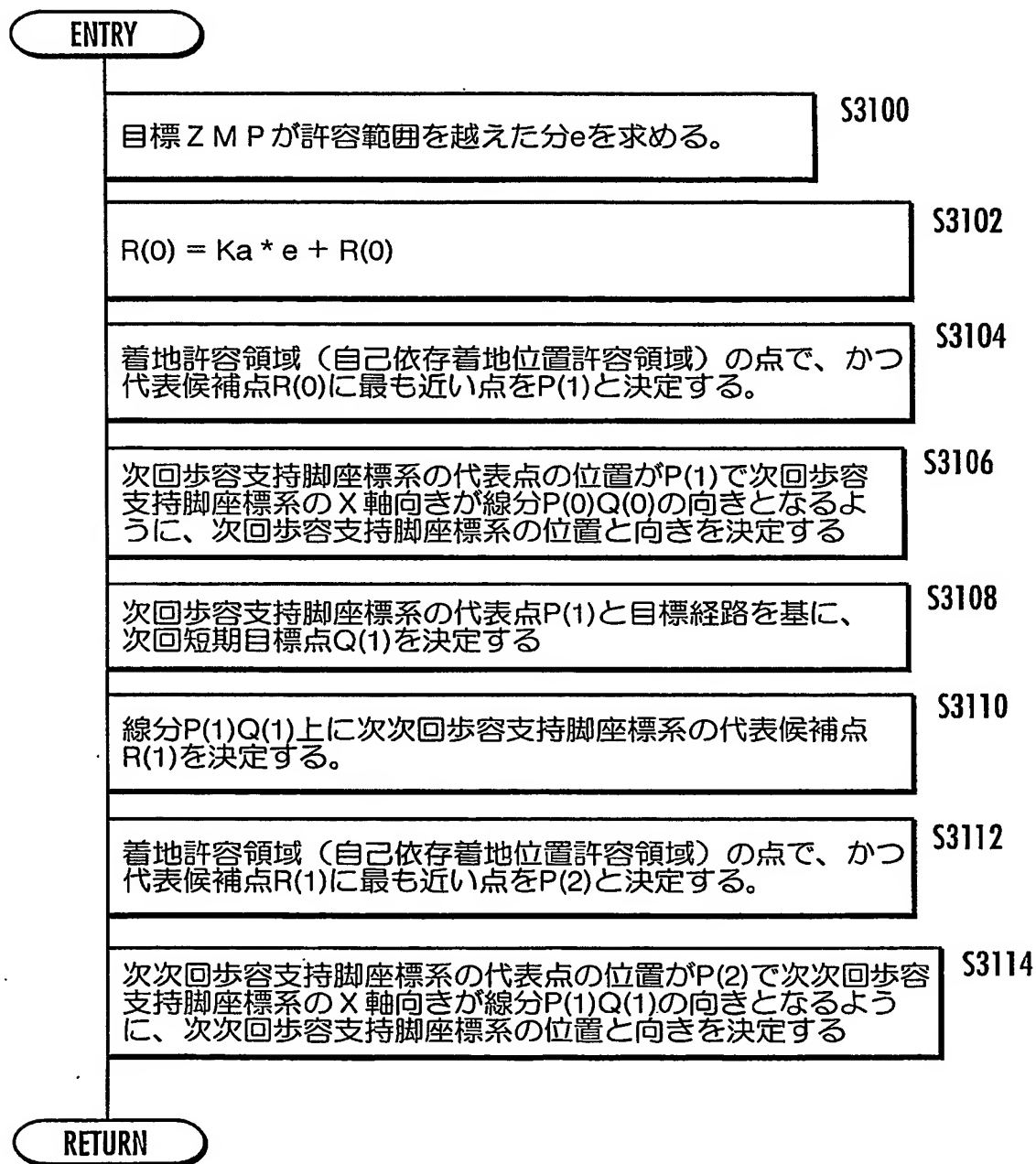


FIG.19



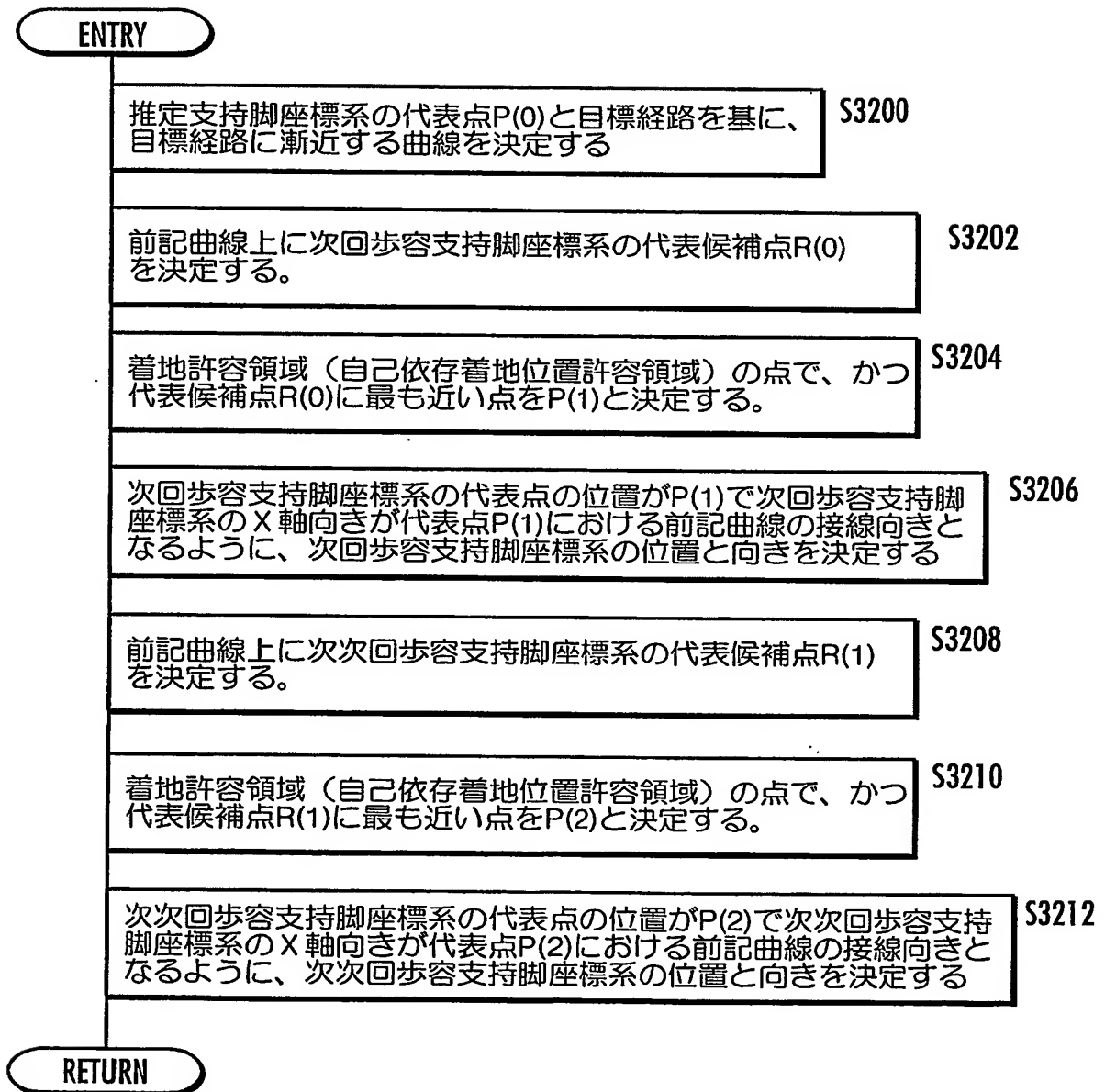
16 / 29

FIG.20



17 / 29

FIG.21



18 / 29

FIG.22

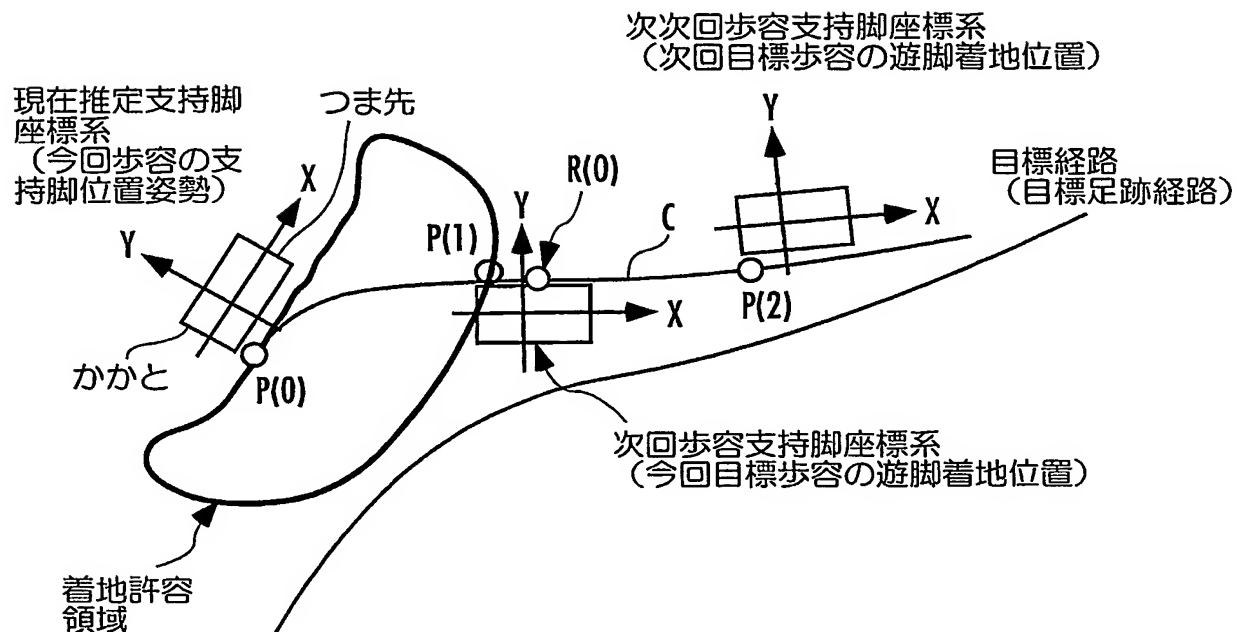
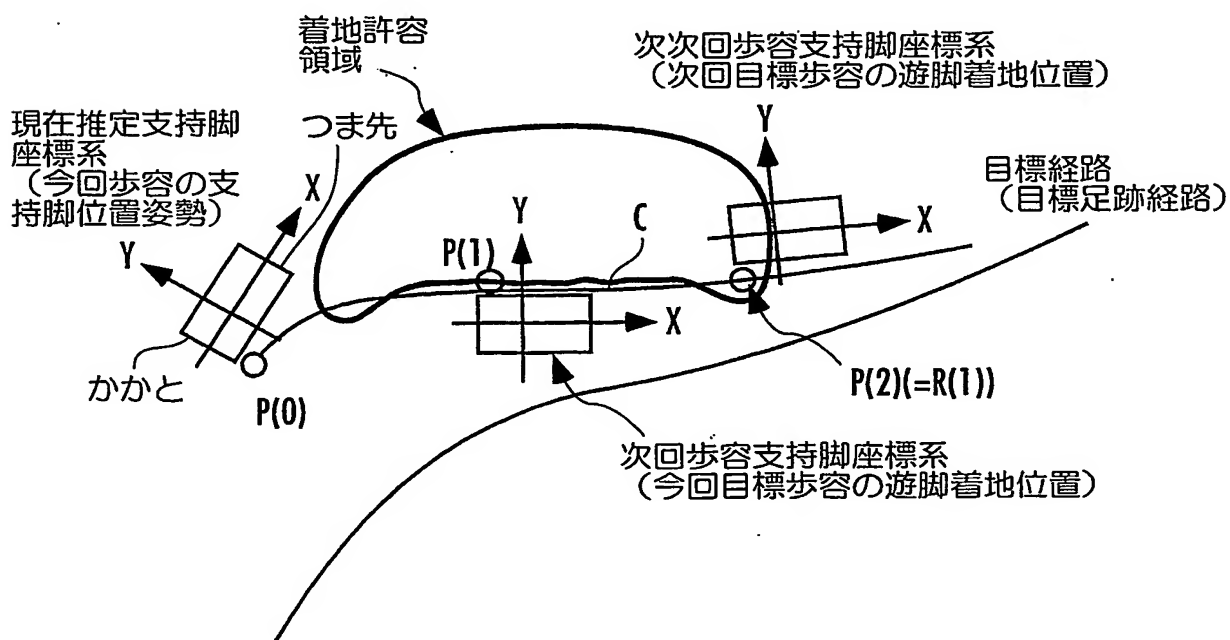


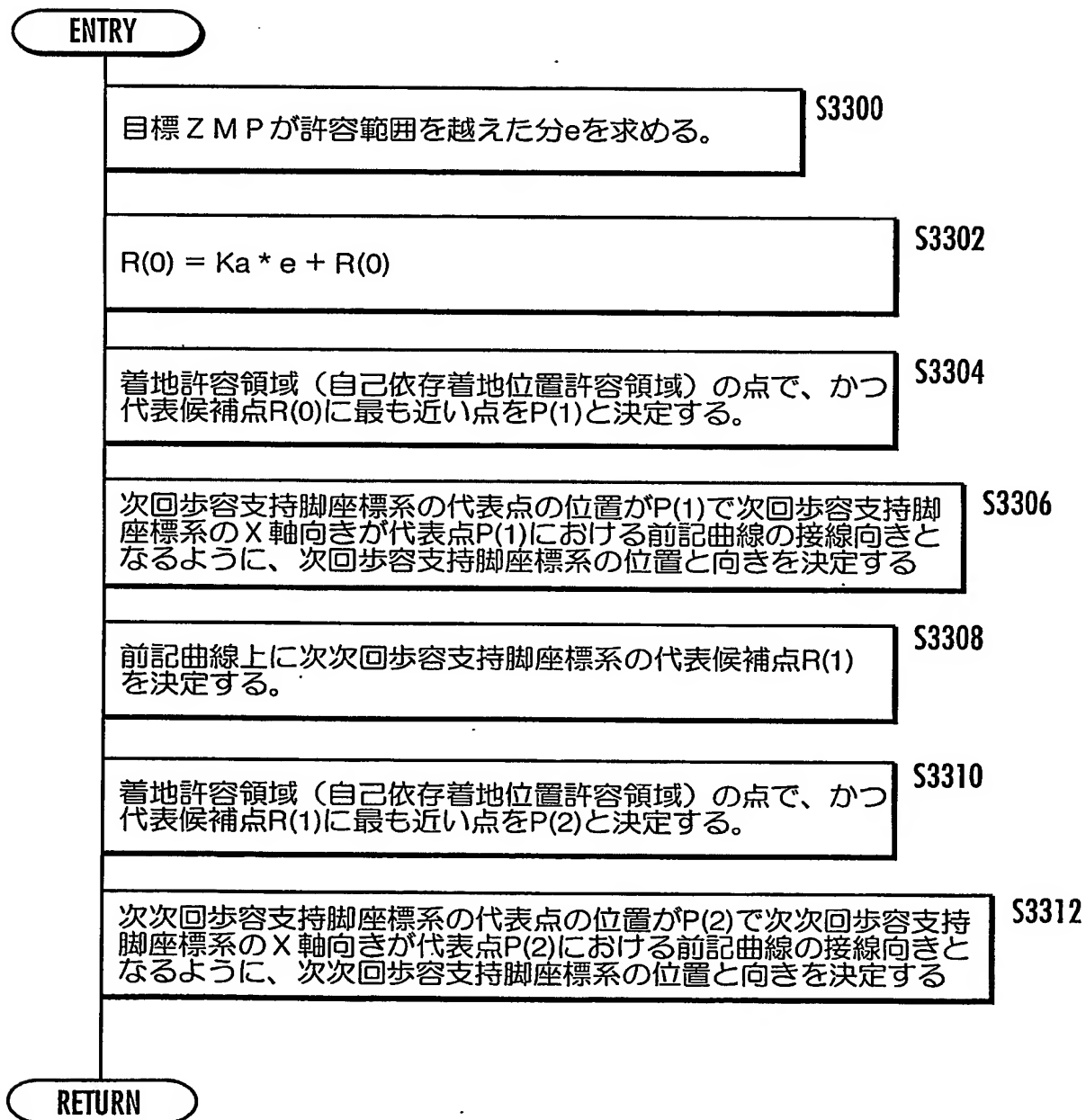
FIG.23





19 / 29

FIG.24



20 / 29

FIG.25

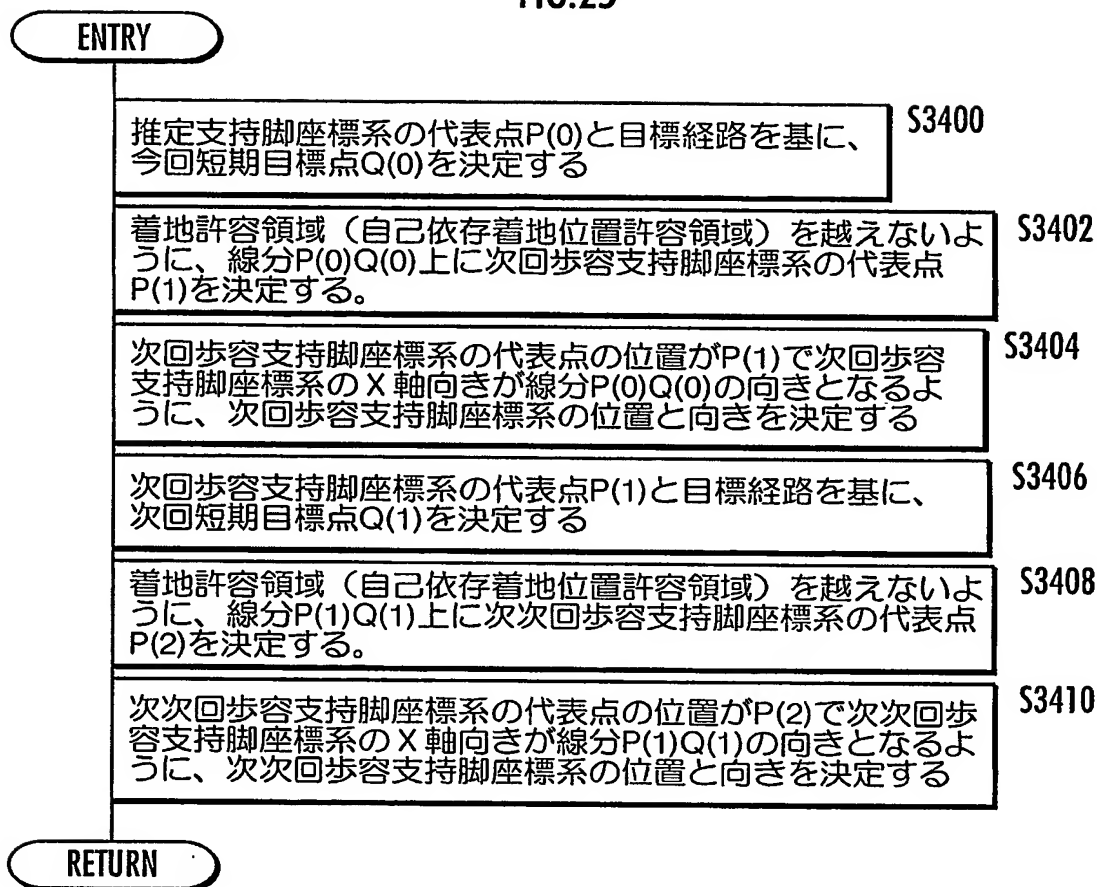
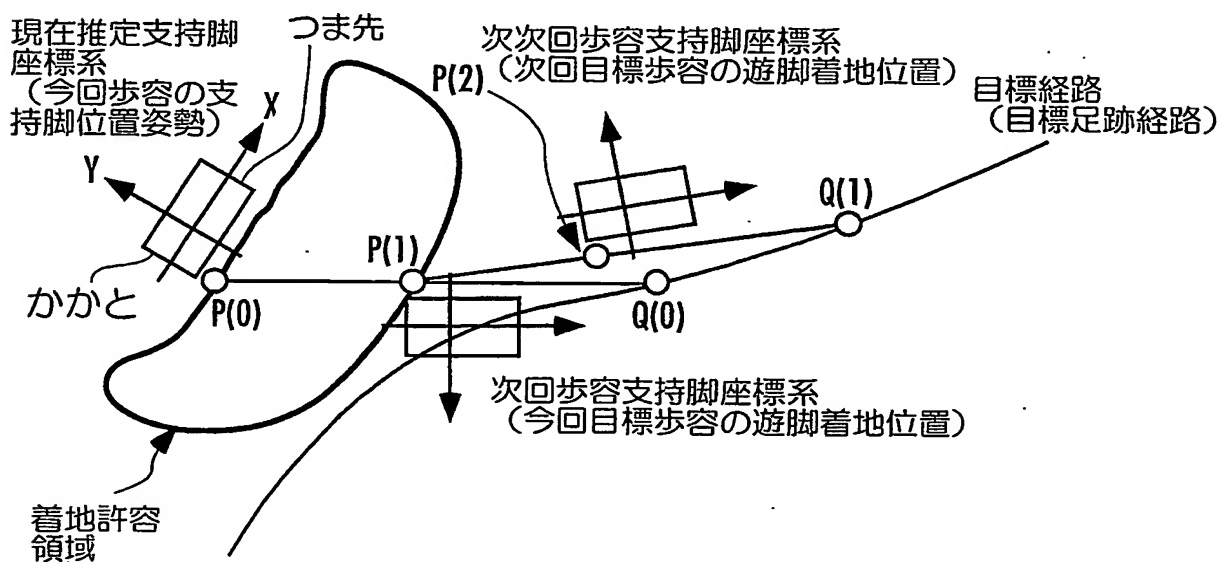
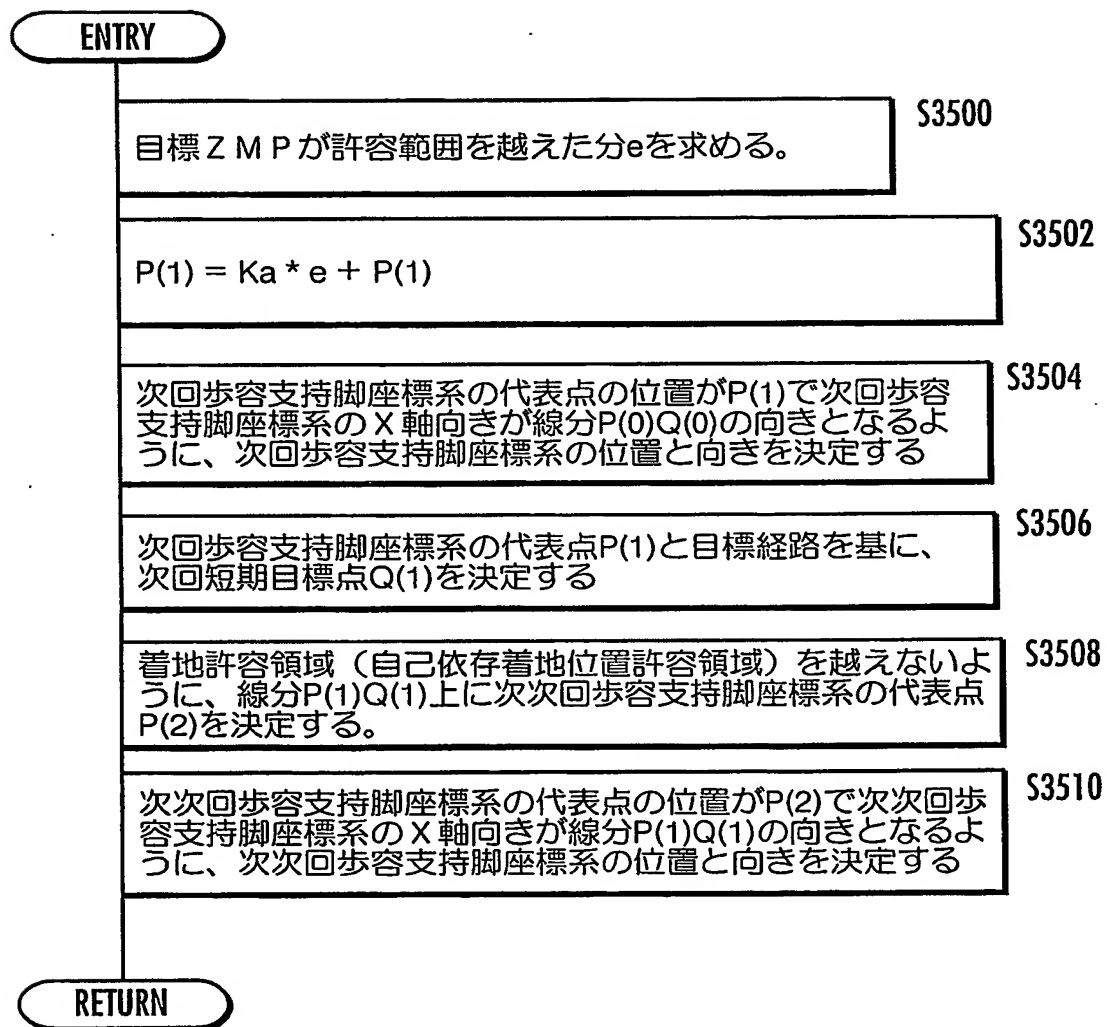


FIG.26



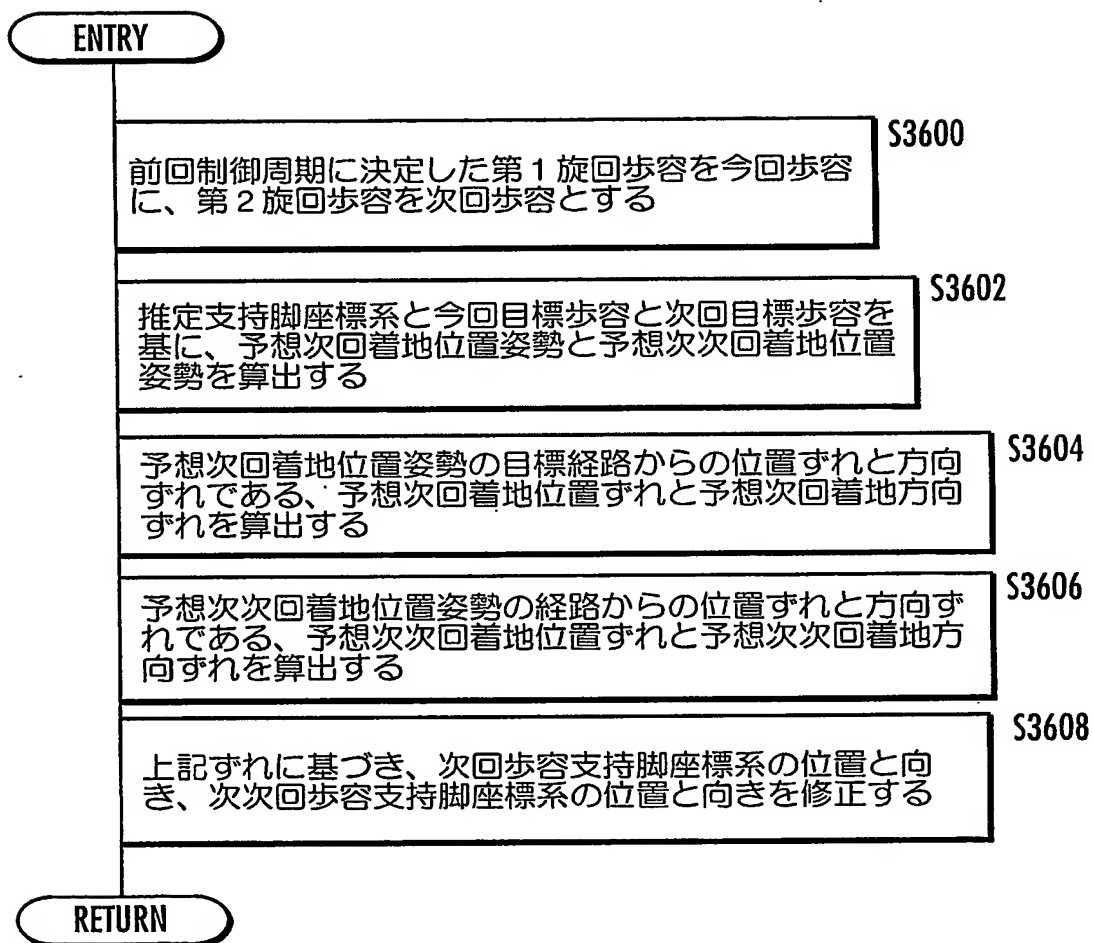
21 / 29

FIG.27



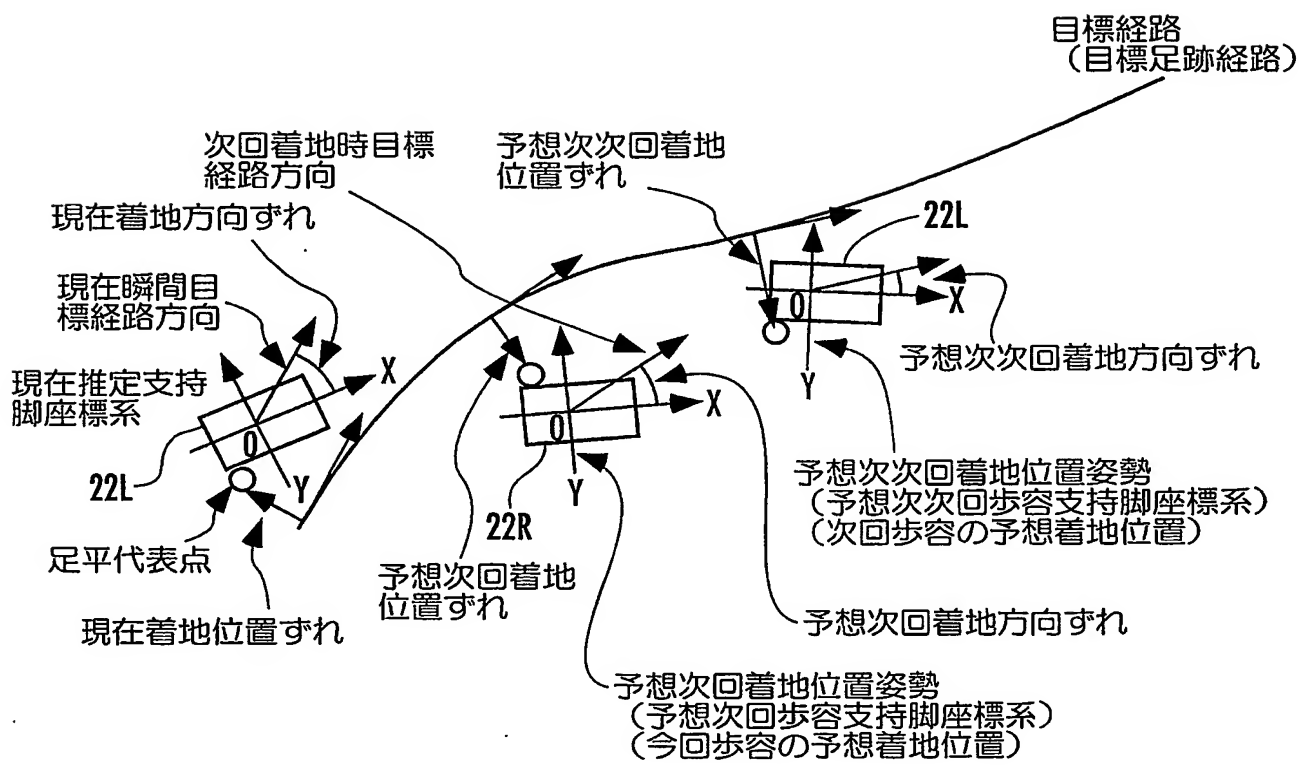
22 / 29

FIG.28



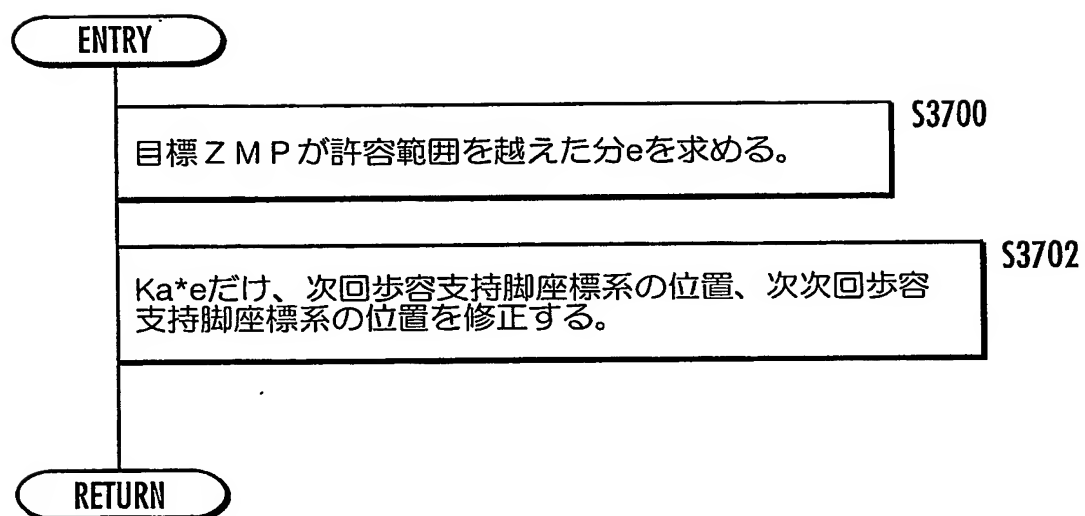
23 / 29

FIG.29



24 / 29

FIG.30



25 / 29

FIG.31

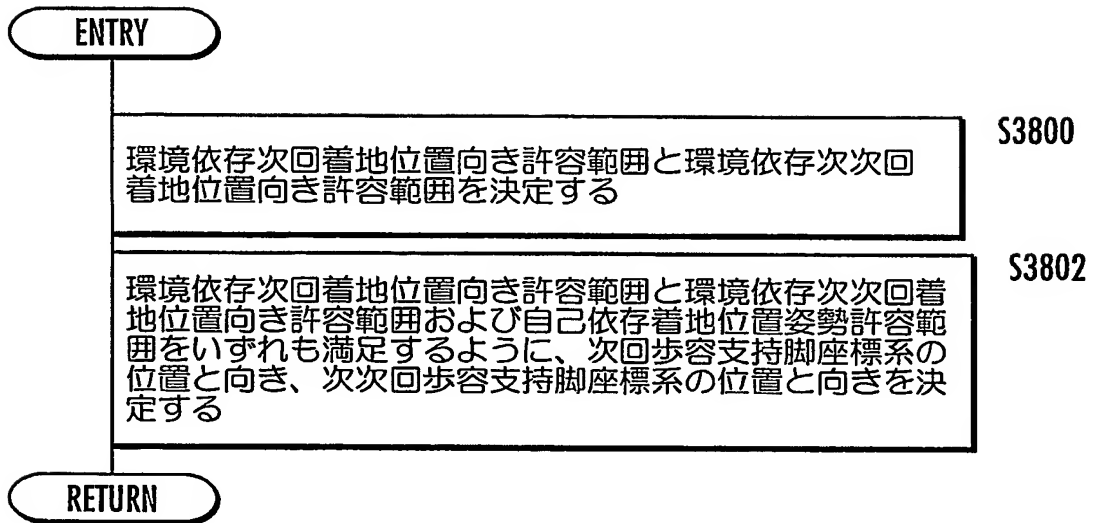
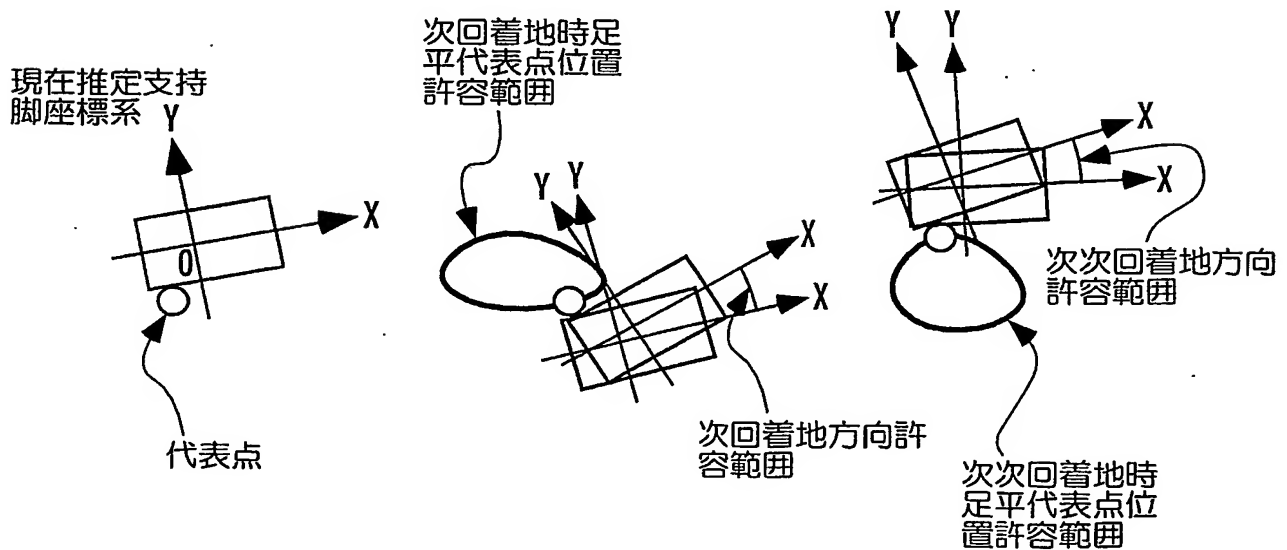


FIG.32



26 / 29

FIG.33

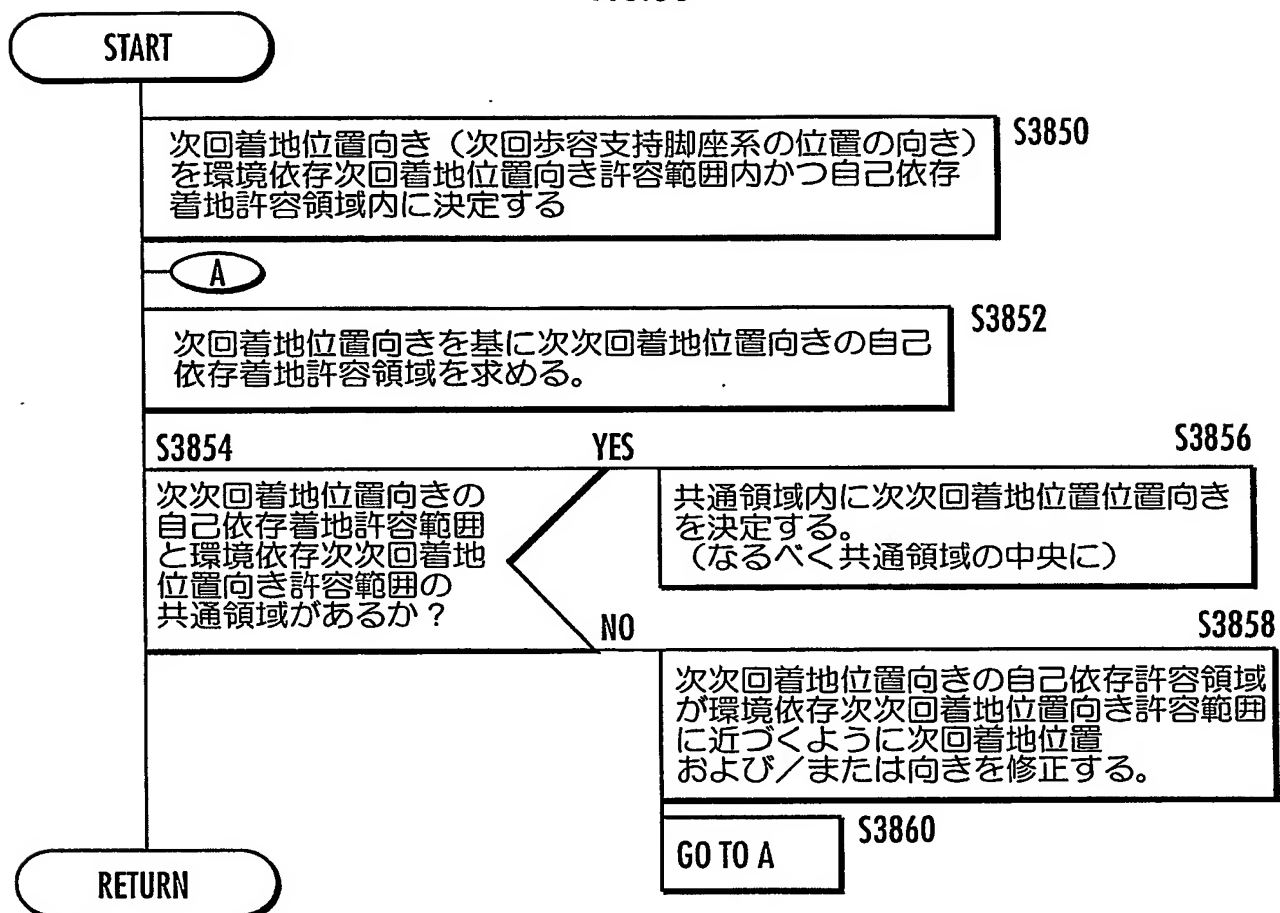
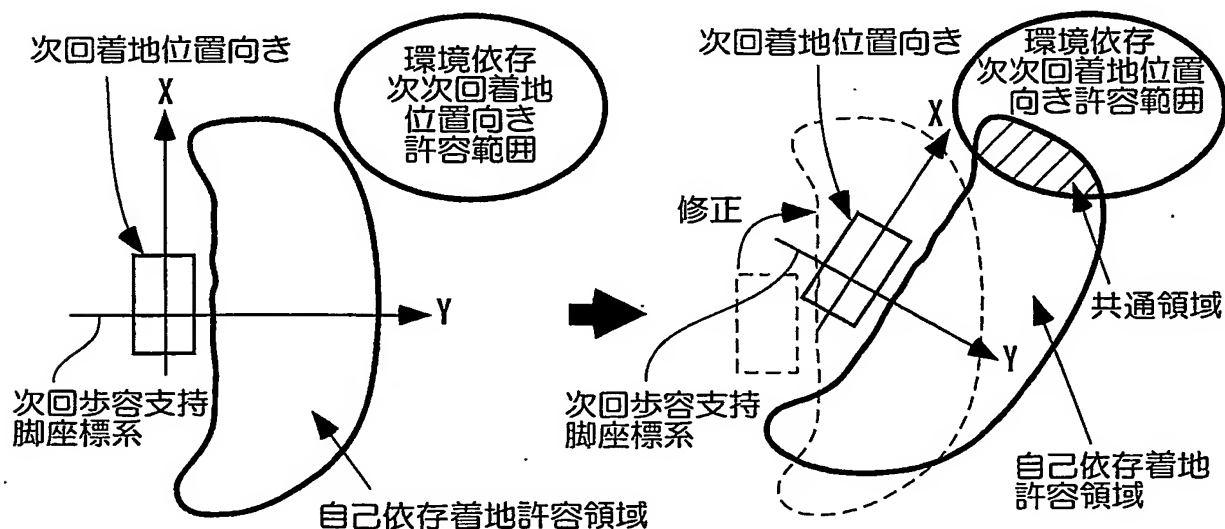


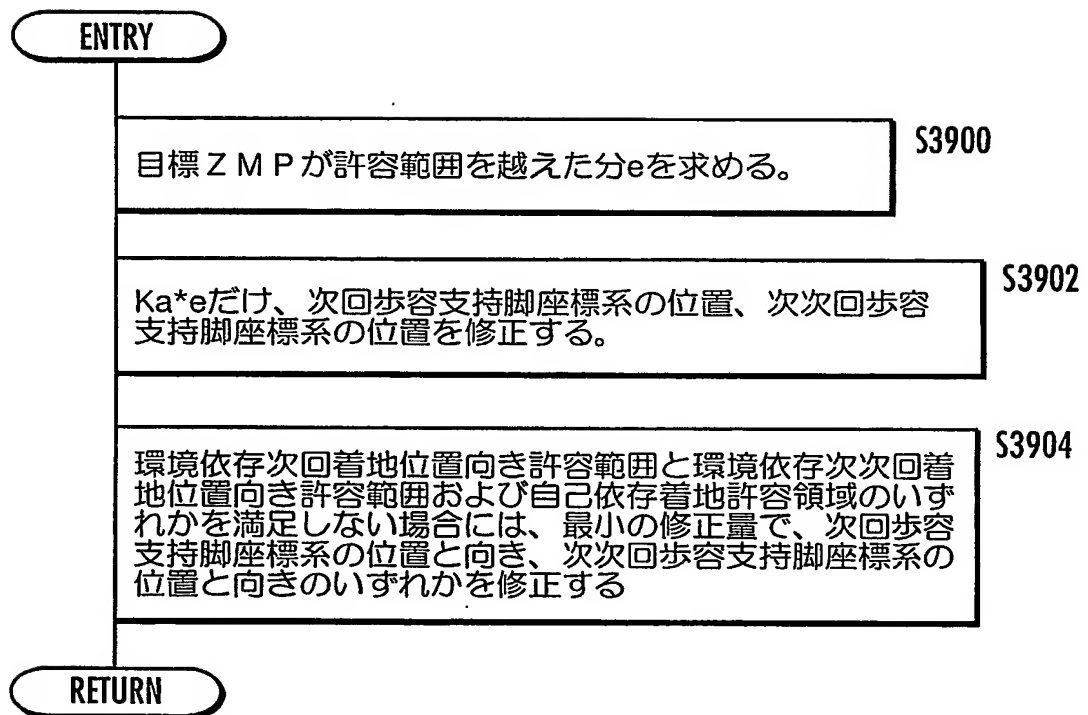
FIG.34





27 / 29

FIG.35



28 / 29

FIG.36

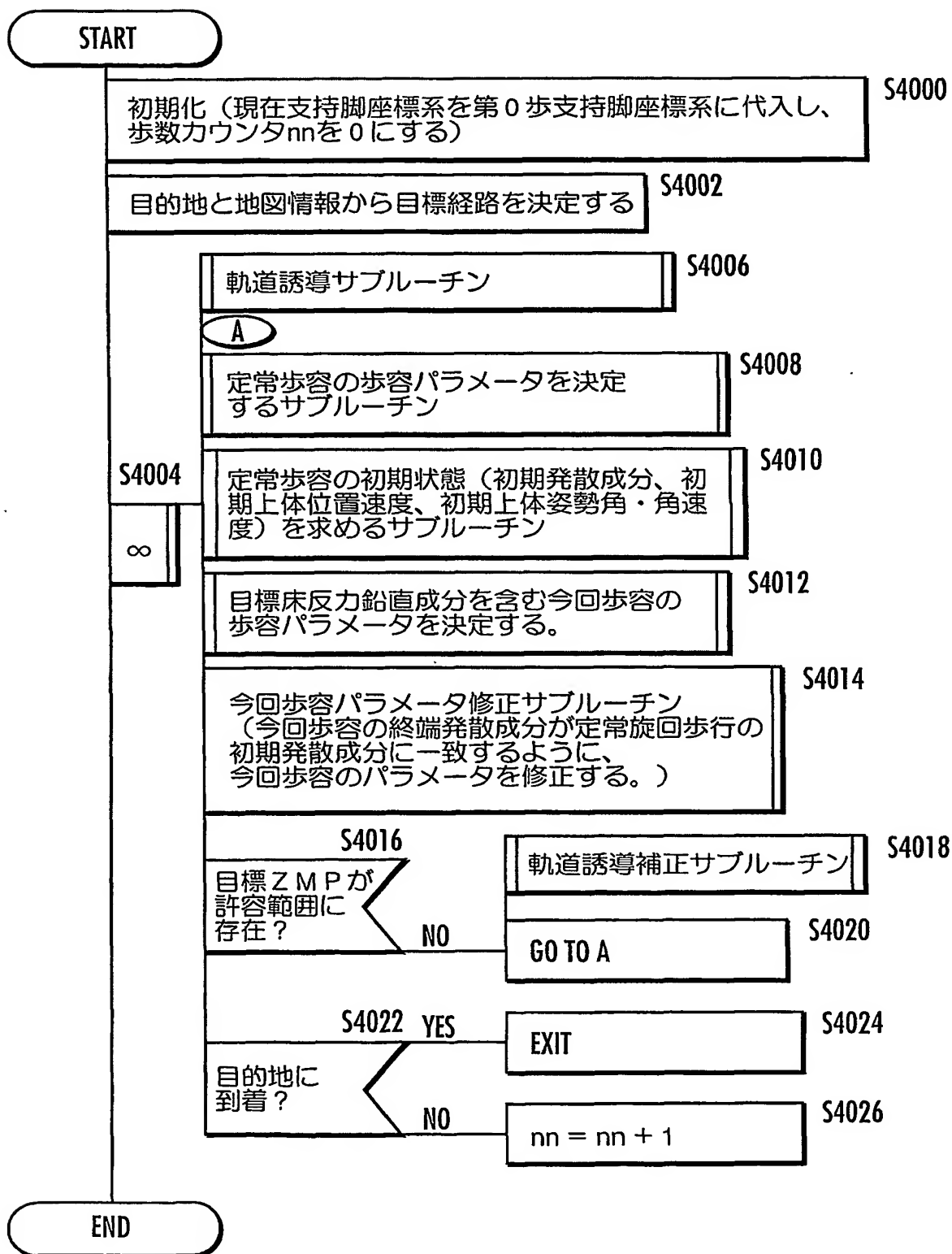
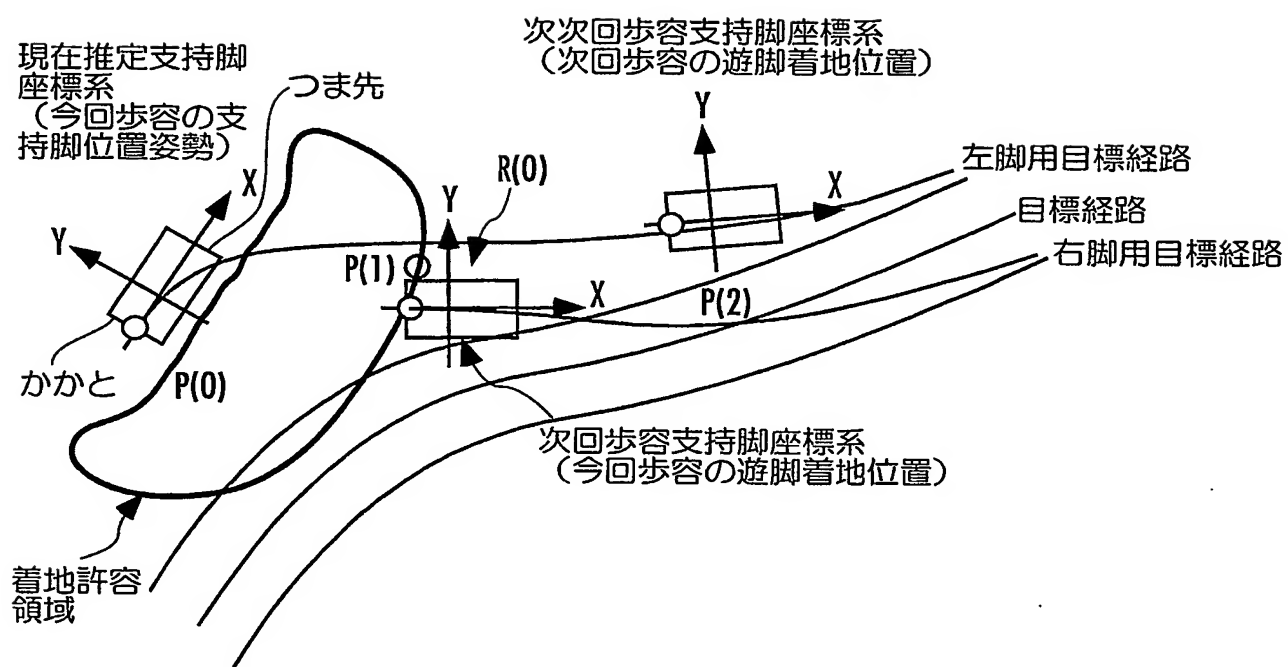


FIG.37



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05450

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> B25J13/00, 5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> B25J13/00, 5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1120203 A1 (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA), 01 August, 2001 (01.08.01), Full text; all drawings & WO 99/54095 A1 & JP 11-300660 A & JP 11-300661 A & US 6289265 B1	1-41
A	EP 1083120 A2 (SONY CORP.), 14 March, 2001 (14.03.01), Full text; all drawings & JP 2001-150371 A & CN 1289665 A	1-41



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
16 July, 2003 (16.07.03)Date of mailing of the international search report  
29 July, 2003 (29.07.03)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP03/05450

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int Cl<sup>7</sup> B25J13/00, 5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int Cl<sup>7</sup> B25J13/00, 5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	EP 1120203 A1 (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA), 2001. 08. 01, 全文, 全図&WO 99/54095 A1&JP 11-300660 A&JP 11-300661 A&US 6289265 B1	1-41
A	EP 1083120 A2 (SONY CORPORATION) 2001. 03. 14, 全文, 全図&JP 2001-150371 A&CN 1289665 A	1-41

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 07. 03

国際調査報告の発送日

29.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

八木 誠



3C

9348

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

10/511360

特 許 協 力 条 約

PCT

国際予備審査報告

(法第12条、法施行規則第56条)  
[PCT36条及びPCT規則70]

RECEIVED 22 JAN 2004
WIPO PCT

出願人又は代理人 の書類記号 PCT02716	今後の手続きについては、国際予備審査報告の送付通知(様式PCT/ IPEA/416)を参照すること。		
国際出願番号 PCT/JP03/05450	国際出願日 (日.月.年) 28.04.03	優先日 (日.月.年) 26.04.02	
国際特許分類(IPC) Int Cl <sup>7</sup> B25J13/00, 5/00			
出願人(氏名又は名称) 本田技研工業株式会社			

1. 国際予備審査機関が作成したこの国際予備審査報告を法施行規則第57条(PCT36条)の規定に従い送付する。
2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 3 ページからなる。 <input type="checkbox"/> この国際予備審査報告には、附属書類、つまり補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関に対してした訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面も添付されている。 (PCT規則70.16及びPCT実施細則第607号参照) この附属書類は、全部で ページである。
3. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。 I <input checked="" type="checkbox"/> 国際予備審査報告の基礎 II <input type="checkbox"/> 優先権 III <input type="checkbox"/> 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成 IV <input type="checkbox"/> 発明の単一性の欠如 V <input checked="" type="checkbox"/> PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明 VI <input type="checkbox"/> ある種の引用文献 VII <input type="checkbox"/> 国際出願の不備 VIII <input type="checkbox"/> 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 10.09.03	国際予備審査報告を作成した日 07.01.04
名称及びあて先 日本国特許庁(IPEA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 八木 誠 電話番号 03-3581-1101 内線 3324

## I. 国際予備審査報告の基礎

1. この国際予備審査報告は下記の出願書類に基づいて作成された。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に  
 応答するために提出された差し替え用紙は、この報告書において「出願時」とし、本報告書には添付しない。  
 PCT規則70.16, 70.17)

☒ 出願時の国際出願書類

- ☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 出願時に提出されたもの  
 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 PCT19条の規定に基づき補正されたもの  
 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 出願時に提出されたもの  
 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの
- ☐ 明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
 明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
 明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの

2. 上記の出願書類の言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願の言語である。

上記の書類は、下記の言語である \_\_\_\_\_ 語である。

- ☐ 国際調査のために提出されたPCT規則23.1(b)にいう翻訳文の言語  
☐ PCT規則48.3(b)にいう国際公開の言語  
☐ 国際予備審査のために提出されたPCT規則55.2または55.3にいう翻訳文の言語

3. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際予備審査報告を行った。

- ☐ この国際出願に含まれる書面による配列表  
☐ この国際出願と共に提出された磁気ディスクによる配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された書面による配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された磁気ディスクによる配列表  
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった  
☐ 書面による配列表に記載した配列と磁気ディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

4. 補正により、下記の書類が削除された。

- ☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項  
☐ 図面 図面の第 \_\_\_\_\_ ページ/図

5. ☐ この国際予備審査報告は、補充欄に示したように、補正が出願時における開示の範囲を越えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c) この補正を含む差し替え用紙は上記1.における判断の際に考慮しなければならず、本報告に添付する。)

V. 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条（PCT35条(2)）に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

1. 見解

新規性 (N)

請求の範囲 1-41 有  
請求の範囲 無

進歩性 (IS)

請求の範囲 1-41 有  
請求の範囲 無

産業上の利用可能性 (IA)

請求の範囲 1-41 有  
請求の範囲 無

2. 文献及び説明 (PCT規則70.7)

請求の範囲1-41について、国際調査報告書で引用した文献には、いずれも、脚式移動ロボットの制御装置又は足跡決定装置において、足平目標着地向き決定手段や足平着地許容範囲設定手段等設けることについて、何ら記載されておらず、その示唆もない。



Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

PCT/JP2003/005450



Applicant's or agent's file reference PCT02716	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/JP2003/005450	International filing date ( <i>day/month/year</i> ) 28 April 2003 (28.04.2003)	Priority date ( <i>day/month/year</i> ) 26 April 2002 (26.04.2002)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC B25J 13/00, 5/00		
Applicant HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA		

<p>1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.</p> <p>2. This REPORT consists of a total of <u>3</u> sheets, including this cover sheet.</p> <p><input type="checkbox"/> This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).</p> <p>These annexes consist of a total of _____ sheets.</p>	
<p>3. This report contains indications relating to the following items:</p> <p>I <input checked="" type="checkbox"/> Basis of the report</p> <p>II <input type="checkbox"/> Priority</p> <p>III <input type="checkbox"/> Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability</p> <p>IV <input type="checkbox"/> Lack of unity of invention</p> <p>V <input checked="" type="checkbox"/> Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement</p> <p>VI <input type="checkbox"/> Certain documents cited</p> <p>VII <input type="checkbox"/> Certain defects in the international application</p> <p>VIII <input type="checkbox"/> Certain observations on the international application</p>	

Date of submission of the demand 10 September 2003 (10.09.2003)	Date of completion of this report 07 January 2004 (07.01.2004)
Name and mailing address of the IPEA/JP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP2003/005450

**I. Basis of the report****1. With regard to the elements of the international application:\***

- ☒ the international application as originally filed
- ☐ the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the claims:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement under Article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

**2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.**

These elements were available or furnished to this Authority in the following language \_\_\_\_\_ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

**3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:**

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

**4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:**

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

**5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).\*\***

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP 03/05450

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	1 - 41	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1 - 41	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1 - 41	YES
	Claims		NO

### 2. Citations and explanations

With regard to the inventions set forth in claims 1 to 41, none of the documents cited in the international search report describes or suggests a control device or footstep determination device for legged mobile robot, provided with a means for determining the target landing direction of the foot or a means for setting the allowable range for the landing position of the foot.